



**IPNI**  
INTERNATIONAL  
PLANT NUTRITION  
INSTITUTE

INSTITUTO INTERNACIONAL  
DE NUTRICIÓN DE PLANTAS

WWW.IPNI.NET



SEPTIEMBRE  
2009

## CONTENIDO

- ✦ FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y AZUFRADA DE MAÍZ
- ✦ ADITIVIDAD EN LA RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN
- ✦ RESPUESTA DE MAÍZ AL NITRÓGENO CON VARIABLES SITIO-ESPECÍFICAS
- ✦ NIVELES CRÍTICOS DE P Y S PARA SOJA EN EL SUR DE CÓRDOBA
- ✦ PÉRDIDAS POR VOLATIZACIÓN DE N Y RENDIMIENTO EN MAÍZ
- ✦ INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE COSECHA EN SIEMBRA DIRECTA

## RESPUESTA FÍSICA Y ECONÓMICA DE MAÍZ A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y AZUFRADA EN BALCARCE Y 9 DE JULIO (BUENOS AIRES)

Agustín Pagani, Hernán E. Echeverría y Hernán R. Sainz Rozas  
Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce  
[paganiagustin@hotmail.com](mailto:paganiagustin@hotmail.com)

### Introducción

La inclusión del maíz como integrante de la rotación presenta gran relevancia debido fundamentalmente a su abundante aporte de rastrojos, que contribuyen a una mayor cobertura del suelo, permiten gran incorporación de carbono y, por ende, mejoran los niveles de materia orgánica. Sin embargo, los efectos de la inclusión del maíz en la rotación dependen del nivel de rendimiento logrado. El nitrógeno (N) es un gran determinante del rendimiento del cultivo en la Región Pampeana (Andrade et al., 2002). Por otro lado, la respuesta azufre (S) se presenta en lotes con bajos contenidos de MO, reducida estabilidad estructural, prolongada historia agrícola, indicios de erosión en el suelo y escasa o nula historia de fertilización azufrada (Ferraris et al., 2004). Además, bajo sistemas de labranza conservacionista como la siembra directa (SD), se ha mencionado que la disponibilidad de nutrientes disminuye con respecto al sistema de labranza convencional (LC) (Echeverría y Sainz Rozas, 2001). Numerosos trabajos han reportado deficiencias de S en el cultivo de maíz en la Región Pampeana norte y noreste (Martínez y

Cordone, 2000; Ferraris y Couretot, 2006), pero es escasa la información al respecto en el SE bonaerense (Echeverría, 2002).

La eficiencia en el uso de nutrientes es un aspecto fundamental a tener en cuenta desde la perspectiva económica como ambiental (Snyder y Bruulsema,



Vista general del ensayo de fertilización NS de maíz en 9 de Julio



Director: Dr. Fernando O. García

INSTITUTO INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN DE PLANTAS  
PROGRAMA LATINOAMERICA - CONO SUR

Av. Santa Fe 910

(B1641ABO) Acassuso – Argentina

Tel/Fax (54) (011) 4798-9939

E-mail: [fgarcia@ipni.net](mailto:fgarcia@ipni.net)

Sitio Web: [www.ipni.net/lasc](http://www.ipni.net/lasc)

Propietario: International Plant Nutrition  
Institute (IPNI)

ISSN 1666 - 7115

No. de Registro de Propiedad Intelectual: 782346

Se permite copiar, citar o reimprimir los artículos de este boletín siempre  
y cuando no se altere el contenido y se cite la fuente y el autor.

Diseño: [www.agroeditorial.com.ar](http://www.agroeditorial.com.ar) - [amatthiess@amatthiess.com.ar](mailto:amatthiess@amatthiess.com.ar)  
Impresión: Grancharoff Impresores



## Contenido:

Respuesta física y económica de maíz a la fertilización nitrogenada y azufrada en Balcarce y 9 de Julio (Bs. As.)	1
Aditividad en la respuesta de los cultivos extensivos a la fertilización con distintos nutrientes en la Región Pampeana	8
Modelo regional de respuesta de maíz al nitrógeno con variables sitio-específicas en ambientes semiáridos	12
Nivel crítico de fósforo y azufre en suelos del sur de Córdoba para el cultivo de soja	16
Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz: Efectos de fuente, dosis y uso de inhibidores	19
Caracterización de la dinámica de incorporación de residuos de cosecha al suelo en un sistema agrícola en siembra directa en el centro-oeste de Buenos Aires	22
Publicaciones y Congresos	27

2007). Para el N, se han determinado eficiencias de uso del fertilizante nitrogenado (EUFN) que varían desde 4 a 54 kg de grano kg de N aplicado<sup>-1</sup> según dosis, nivel inicial de N, condiciones ambientales, tecnología de aplicación, etc. (Sainz Rozas et al., 2004). En cuanto a S, la información disponible es menor; no obstante, se han determinado eficiencias de uso del fertilizante azufrado (EUFS) de 43 a 135 kg de grano kg de S aplicado<sup>-1</sup> (Ventimiglia et al., 2001). Sin embargo, es escasa la información disponible de cómo la aplicación de un nutriente modifica la eficiencia de uso del otro. Considerando que tanto N como S se encuentran involucrados en la síntesis de proteínas, algunos trabajos señalan que la falta de S reduciría la EUFN en los cultivos (Ceccoti, 1996). Probablemente la adición de S mejore la EUFN y viceversa.

El objetivo de este trabajo fue evaluar 1) el efecto de la aplicación de N y S sobre el rendimiento y la eficiencia en el uso de estos nutrientes y 2) la conveniencia económica de la fertilización en ambientes agrícolas relevantes y contrastantes de la provincia de Buenos Aires, como Balcarce y 9 de Julio.

### Materiales y métodos

Se realizaron experimentos en las localidades de Balcarce y 9 de Julio en la provincia de Buenos Aires durante las campañas 2005-06, 2006-07 y 2007-08. En la campaña 2005-06 se empleó un experimento de larga duración en la Estación Experimental INTA de Balcarce, en adelante denominado Balcarce I (Bce I), mientras que en la campaña 2006-07 se realizaron dos experimentos, uno en el mismo sitio

que el anterior, denominado Balcarce II (Bce II) y otro en la localidad de 9 de Julio denominado 9 de Julio I (9dJ I). Durante la campaña 2007-08 se condujo un cuarto experimento en 9 de Julio, en adelante denominado 9 de Julio II (9dJ II). Los suelos de los sitios experimentales fueron: Argiudol típico para Bce I y Bce II, Hapludol típico para 9dJ I y Hapludol éntico para 9dJ II. Algunas características de los suelos de los tres experimentos a la siembra del maíz son presentadas en la Tabla 1. Todos los ensayos fueron fertilizados con 20-30 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo (P), asegurando una elevada disponibilidad. La fuente de N, P y S fue urea granulada (46-0-0), superfosfato triple de calcio (0-20-0) y sulfato de calcio (20% S, 16% Ca), respectivamente. Se realizó un balance hídrico para cada uno de los cuatro experimentos con el método utilizado por Della Maggiora et al. (2003).

En Bce I se empleó un diseño en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. El arreglo fue en parcelas divididas, en donde la parcela principal incluyó dos sistemas de labranza, convencional (LC) y directa (SD), y la subparcela cuatro tratamientos de fertilización. Estos últimos fueron: testigo (T), azufre (S), nitrógeno (N) y nitrógeno más azufre (NS); dichos nutrientes fueron agregados en cantidades no limitantes (N: 125 kg ha<sup>-1</sup> y S: 15 kg ha<sup>-1</sup>). En Bce II, 9dJ I y 9dJ II, el sistema de labranza utilizado fue SD y se utilizó un diseño en bloques completos aleatorizados (tres repeticiones) con un arreglo factorial de los tratamientos. Los factores utilizados fueron N, con niveles de 0, 50 y 100 kg ha<sup>-1</sup> para Bce II y 0, 60, 120 kg ha<sup>-1</sup> para 9dJ I y 9dJ II; y S, con niveles de 0, 8 y 16 kg ha<sup>-1</sup> para Bce I y 9dJ I y 0, 5, 10 y 20 kg ha<sup>-1</sup> para 9dJ II. Se determinó rendimiento en

grano expresado a 14% de humedad.

Se calculó la eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado (EUFN) como el cociente entre la diferencia de rendimiento en grano del tratamiento fertilizado con N y el testigo, y la dosis de N aplicada. La EUFN fue calculada en forma individual para los distintos niveles de S. Análogamente, se calculó la eficiencia de uso del fertilizante azufrado (EUFS). Este índice se calculó para los distintos niveles de N. Por último, se calculó el retorno neto de la fertilización con N y S (RNFN y RNFS, respectivamente) de la siguiente manera:

$$\text{RNF } (\$ \text{ ha}^{-1}) = [\text{incremento de rendimiento (kg ha}^{-1}) \times \text{precio neto grano } (\$ \text{ kg}^{-1})] - [(\text{dosis de nutriente aplicado (kg ha}^{-1}) \times \text{precio nutriente } (\$ \text{ kg}^{-1})) + \text{costo aplicación } (\$ \text{ ha}^{-1})].$$

Además, se calculó el retorno por peso invertido en fertilizante con N y S (R\$IN y R\$IS, respectivamente) como:

$$\text{R\$I } (\$) = \text{RNF} / [(\text{dosis de nutriente aplicado (kg ha}^{-1}) \times \text{precio nutriente } (\$ \text{ kg}^{-1}))].$$

Se consideraron precios promedio de los últimos 10 años para N (\$3.65 kg<sup>-1</sup>), S (\$4.29 kg<sup>-1</sup>) y grano de maíz neto (\$0.42 kg<sup>-1</sup>) según información obtenida a partir de la serie de precios de AACREA 2008. El costo de la fertilización se consideró como el equivalente a 8 kg de N.

Finalmente, se realizaron análisis de varianza utilizando el procedimiento GLM incluido en las rutinas del programa Statistical Analysis System (SAS Institute 1996).

## Resultados y discusión

### Evolución de las precipitaciones

En Bce I y 9dJ I, las precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo de maíz tuvieron adecuada distribución, totalizando 490 y 594 mm, respectivamente, por lo que la disponibilidad de agua no habría limitado en forma significativa el crecimiento del cultivo (Figura 1). Por su parte, en Bce II y 9dJ II, las precipitaciones totales alcanzaron 522 y 453 mm pero con una inadecuada distribución, ya que éstas no fueron abundantes alrededor de la floración del cultivo (Figura 1), lo que condicionó su rendimiento.

### Rendimiento en grano

No se determinó interacción N×S sobre los rendimientos de ninguno de los cuatro ensayos. Estos resultados coinciden con los obtenidos en el norte de la Provincia de Buenos Aires (Ferraris y Couretot 2006).

En Bce I, los rendimientos variaron entre 8000 y 12000 kg ha<sup>-1</sup>. Se registró un efecto significativo del sistema de labranza (p<0.01), siendo mayores los rendimientos bajo LC que bajo SD (10687 y 9502

kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente) (Figura 2), resultados que coinciden con los de Echeverría y Sainz Rozas (2001). El efecto del N sobre los rendimientos fue el de mayor importancia (p<0.01), con una respuesta promedio de 1916 kg ha<sup>-1</sup> (Tabla 2), indicando que este nutriente es el que limitó en mayor medida el crecimiento del cultivo. Con respecto al S, si bien la respuesta no fue significativa, se observó un incremento promedio (a través de sistemas labranza) de 400 kg ha<sup>-1</sup> por el agregado de dicho nutriente (Tabla 3).

En Bce II, las reducidas precipitaciones alrededor del período crítico (Figura 1) limitaron el rendimiento, ya que este osciló entre 8185 y 9386 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 2). A diferencia de lo ocurrido en Bce I, se registró un efecto significativo de N y S (p<0.01), siendo las respuestas medias de 382 y 682 kg ha<sup>-1</sup> para el agregado de 50 y 100 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabla 2) y de 499 y 697 kg ha<sup>-1</sup> para el agregado de 8 y 16 kg S ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabla 3). Las respuestas de magnitud similar a N y S se explicarían por la relativamente alta disponibilidad edáfica inicial de N (88 kg ha<sup>-1</sup> hasta 60 cm) y por la baja disponibilidad de S (31 kg ha<sup>-1</sup> hasta 60 cm) (Tabla 1).

En 9dJ I, los rendimientos variaron entre 9742 y 15399 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 2), hallándose efecto significativo de ambos nutrientes (p<0.01). Las respuestas promediaron 2545 y 4817 kg ha<sup>-1</sup> para el agregado de 60 y 120 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabla 2) y 360 y 624 kg ha<sup>-1</sup> para el agregado de 8 y 16 kg S ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabla 3). Estos incrementos de rendimiento debidos a la adición de S coinciden con los reportados por otros autores en la Región Pampeana Norte (Fontanetto et al., 2000). Si bien en este experimento no se determinó efecto de interacción N×S (p=0.11), se evidenció una clara tendencia de aumento de rendimiento en la mayor dosis de N por el agregado de S (804 y 1471 kg ha<sup>-1</sup> para la dosis de 8 y 16 kg S ha<sup>-1</sup>, respectivamente), hecho que no ocurrió en los otros dos niveles de N. El ensayo en la localidad de 9 de julio presentó rendimientos muy superiores a los registrados en Bce I (Figura 2), lo que pudo haberse debido a diferencias entre los materiales genéticos utilizados y/o a la mayor estación de crecimiento que presenta la localidad de 9 de Julio en relación a la de Balcarce.

En 9dJ II, los rendimientos variaron entre 5501 y 10606 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 2), hallándose efecto significativo de ambos nutrientes (p<0.01), siendo las respuestas medias de 1440 y 3661 kg ha<sup>-1</sup> para el agregado de 60 y 120 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabla 2) y de 541, 800 y 926 kg ha<sup>-1</sup> para el agregado de 5, 10 y 20 kg S ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabla 3). La falta de interacción N-S probablemente se relacione con las moderadas deficiencias de N y S que se presentaron, sobre todo en Bce I y Bce II. Cuando el nivel de las deficiencias se incrementaron, como ocurrió en 9dJ I, se evidenciaron indicios de interacción entre ambos nutrientes (p=0.11).

### *Eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado (EUFN) y azufrado (EUFS)*

La EUFN fue media en Bce I (entre 12.8 y 17.8 kg de grano kg de N aplicado<sup>-1</sup>), errática y baja en Bce II (entre 2.5 y 16.1 kg de grano kg de N aplicado<sup>-1</sup>), alta y estable en 9dJ I (entre 34.9 y 45 kg de grano kg de N aplicado<sup>-1</sup>) y media-alta pero con menor estabilidad en 9dJ II (entre 18.1 y 34.5 kg de grano kg de N aplicado<sup>-1</sup>) (Tabla 2). Probablemente, la escasa cantidad de precipitaciones que tuvieron lugar durante el período crítico del cultivo en Bce II, sumado a la relativamente alta disponibilidad de N inicial en el suelo (88 kg ha<sup>-1</sup>), hayan condicionado la respuesta del maíz a la aplicación de N. Por otro lado, las elevadas EUFN determinadas en 9dJ I son consecuencia de las altas respuestas a la fertilización, producto de buenas condiciones hídricas y de una menor disponibilidad de N inicial (52 kg ha<sup>-1</sup>). Barbieri et al. (2003) encontraron EUFN para el cultivo de maíz en Balcarce que variaron entre 30 y 49 kg de grano kg de N aplicado<sup>-1</sup> para la aplicación de 70 kg de N ha<sup>-1</sup>. Dichos resultados fueron determinados ante una baja disponibilidad de N inicial (43 y 56 kg ha<sup>-1</sup>) y adecuadas condiciones de crecimiento, lo que permitió elevadas respuestas a la fertilización, al igual que lo ocurrido en 9dJ I.

Contrariamente a lo esperado, en ninguno de los cuatro experimentos se registraron reducciones significativas en la EUFN con el incremento de la dosis de N aplicada ( $p > 0.3$ ), resultados que no coinciden con los de Blanco Fernández et al. (1998) quienes reportaron disminuciones en la EUFN del maíz, a medida que la oferta de este nutriente se incrementaba. Por otro lado, el agregado de S en general no mejoró significativamente la EUFN ( $p > 0.2$ ). Sólo en 9dJ I, donde se evidenciaron indicios de interacción, se presentó una tendencia de mejora en la EUFN debida a la aplicación de S pero únicamente en la mayor dosis de N aplicada (Tabla 2).

La EUFS presentó mayor variabilidad que la EUFN ya que los rangos oscilaron entre -12 y 64 kg de grano kg de S aplicado<sup>-1</sup> en Bce I, entre -6 y 113 kg de grano kg de S aplicado<sup>-1</sup> en Bce II, entre 11 y 100 kg de grano kg de S aplicado<sup>-1</sup> en 9dJ I, y entre 15 y 198 kg de grano kg de S aplicado<sup>-1</sup> en 9dJ II (Tabla 3). En Bce I y 9dJ II, la aplicación de N no mejoró consistentemente la EUFS ( $p > 0.2$ ), en concordancia con los resultados de Cordone et al. (2001), pero en Bce II y 9dJ I se evidenció una mejora en dicha variable a medida que aumentaba la disponibilidad de N. Al igual que lo ocurrido con la EUFN, la dosis de S aplicada no pareció influir sobre la EUFS ( $p > 0.35$ ) (Tabla 3). Fontanetto et al. (2000) informaron que la EUFS fue de 67, 69 y 48 kg de grano kg de S aplicado<sup>-1</sup> para la aplicación de 6, 12 y 24 kg S ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

### *Análisis económico*

El RNFN varió entre 197 y 460\$ ha<sup>-1</sup> en Bce I, entre -289 y 130\$ ha<sup>-1</sup> en Bce II, entre 805 y 1823\$ ha<sup>-1</sup> en 9dJ I y entre 212 y 1287\$ ha<sup>-1</sup> en 9dJ II (Tabla 2). Con los precios considerados, se estableció una relación de precios N-grano de maíz (kg de maíz necesarios para pagar 1 kg de N) de 8.6. De esta manera, sólo se establecieron RNFN positivos cuando la EUFN fue superior a la relación de precios mencionada. Por ejemplo en Bce II, donde las condiciones hídricas limitaron severamente la respuesta del cultivo a la aplicación de N, en general se establecieron EUFN bajas o negativas que derivaron en que no sea rentable la fertilización con las dosis utilizadas ya que el R\$IN varió entre -0.79 y 0.71\$ (Tabla 2). Por otro lado, en la localidad de 9 de Julio se presentaron importantes respuestas a la fertilización nitrogenada, haciendo que dicha práctica resulte económicamente muy conveniente. En este experimento el R\$IN presentó valores positivos a través de las dosis utilizadas y osciló entre 2.98 y 4.16\$ (Tabla 2). Situaciones intermedias se determinaron en Bce I y 9dJ II con rangos de R\$IN entre 0.42 y 1.1\$ y entre 0.97 y 2.94, respectivamente (Tabla 2).

El RNFS presentó mayor variabilidad que el RNFN, con rangos que oscilaron entre -139 y 343\$ ha<sup>-1</sup> en Bce I, entre -55 y 349\$ ha<sup>-1</sup> en Bce II, entre 6 y 555\$ ha<sup>-1</sup> en 9dJ I y entre 11 y 466\$ ha<sup>-1</sup> en 9dJ II (Tabla 3). En este caso, se estableció una relación de precios S-grano de maíz de 10.1 (kg de maíz necesarios para pagar 1 kg de S) por lo que sólo fue económicamente conveniente aplicar S cuando la EUFS superó este valor. El R\$IS fue bajo en Bce I (entre -2.15 y 5.34\$), intermedio en Bce II y 9dJ I (entre -1.6 y 10.17 y entre 0.09 y 8.93\$, respectivamente) y alto en 9dJ II (entre 0.51 y 18.56 \$) (Tabla 3). Cabe aclarar que el carácter errático del éxito de la fertilización azufrada radica en que no en todos los ambientes se registra una respuesta de magnitud considerable en el cultivo de maíz, a diferencia de lo que ocurre con el N. Por lo tanto, a pesar del relativamente bajo costo del S, será necesario seguir explorando las deficiencias de S en las diferentes zonas productivas a fin de aportar mayor certidumbre a la hora de realizar recomendaciones de fertilización azufrada.

Se concluye que la respuesta del maíz al agregado de S no estuvo condicionada por la nutrición nitrogenada del cultivo, al menos ante los niveles de estrés de N y S que se presentaron en este trabajo. Sin embargo, en dos de los cuatro experimentos, el agregado de N mejoró la EUFS. La rentabilidad de la fertilización fue variable pero estuvo relacionada con la potencialidad del ambiente y con la oferta inicial de ambos nutrientes. El resultado económico de la fertilización con N y S resultó favorable sólo en los ambientes que tuvieron una elevada respuesta a la fertilización.

Tabla 1. Algunas características de los suelos de los sitios experimentales ubicados en las localidades de Balcarce durante las campañas 2005-06 y 2006-07 (Bce I y II, respectivamente) y 9 de Julio en los años 2006-07 y 2007-08 (9dJ I y II, respectivamente). MO: materia orgánica, pH, P: fósforo disponible, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitrógeno como nitrato, S-SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>: azufre como sulfato.

	MO	pH	P	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	S-SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
	(%)	(1:2,5)	(mg kg <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> a 60 cm)	(kg ha <sup>-1</sup> a 60 cm)
Bce I	5,3	5,9	19,8	66	36
Bce II	5,3	5,3	8,0	88	31
9dJ I	2,8	6,3	9,0	52	38
9dJ II	2,3	6,4	18,1	61	30

Tabla 2. Respuesta a N, eficiencia de uso del fertilizante nitrógeno (EUFN), retorno neto de la fertilización nitrogenada (RNFN) y retorno por \$ invertido en N (R\$IN) en función del tratamiento (labranza/fertilización) para cada uno de los cuatro experimentos. Los experimentos se realizaron en las localidades de Balcarce durante las campañas 2005-06 y 2006-07 (Bce I y II, respectivamente) y 9 de Julio en los años 2006-07 y 2007-08 (9dJ I y II, respectivamente).

Experimento	Tratamiento		Respuesta a N (kg ha <sup>-1</sup> )	EUFN (kg grano kg N apl. <sup>-1</sup> )	RNFN (kg ha <sup>-1</sup> )	R\$IN (\$)
Bce I	SD	N	2222	18	456	1,00
	SD	NS	1609	13	197	0,43
	LC	N	1601	13	193	0,42
	LC	NS	2230	18	460	1,01
Bce II	N50	S0	177	4	-137	-0,75
	N50	S8	806	16	130	0,71
	N50	S16	226	5	-116	-0,64
	N100	S0	248	2	-289	-0,79
	N100	S8	1201	12	115	0,31
	N100	S16	611	6	-136	-0,37
9dJ I	N60	S0	2565	43	839	3,83
	N60	S8	2586	43	848	3,87
	N60	S16	2485	41	805	3,67
	N120	S0	4186	35	1308	2,98
	N120	S8	4863	41	1594	3,64
	N120	S16	5401	45	1823	4,16
9dJ II	N60	S0	1800	30	515	2,35
	N60	S5	1368	23	332	1,51
	N60	S10	1085	18	212	0,97
	N60	S20	1508	25	391	1,78
	N120	S0	3967	33	1214	2,77
	N120	S5	3054	25	827	1,89
	N120	S10	3483	29	1009	2,30
	N120	S20	4139	34	1287	2,94



Tabla 3. Respuesta a S, eficiencia de uso del fertilizante S (EUFS), retorno neto de la fertilización azufrada (RNFS) y retorno por \$ invertido en S (R\$IS) en función del tratamiento (labranza/fertilización) para cada uno de los cuatro experimentos. Bce I y II corresponden a los experimentos ubicados en las localidades de Balcarce durante las campañas 2005-06 y 2006-07, respectivamente; 9dJ I y II corresponden a los experimentos realizados en la localidad de 9 de Julio en las campañas 2006-07 y 2007-08, respectivamente.

Experimento	Tratamiento		Respuesta a S (kg ha <sup>-1</sup> )	EUFS (kg grano kg S apl. <sup>-1</sup> )	RNFS (kg ha <sup>-1</sup> )	R\$IS (\$)
	SD	S				
Bce I	SD	S	962	64	343	5.34
	SD	NS	349	23	84	1.30
	LC	S	-175	-12	-139	-2.15
	LC	NS	454	30	128	1.99
Bce II	NO	S8	-49	-6	-55	-1.60
	NO	S16	539	34	160	2.33
	N50	S8	581	73	212	6.18
	N50	S16	588	37	181	2.63
	N100	S8	904	113	349	10.17
	N100	S16	901	56	313	4.57
9dJ I	NO	S8	127	16	20	0.57
	NO	S16	256	16	40	0.58
	N60	S8	148	19	29	0.83
	N60	S16	176	11	6	0.09
	N120	S8	804	100	307	8.93
	N120	S16	1471	92	555	8.09
9dJ II	NO	S5	989	198	398	18.56
	NO	S10	1200	120	466	10.86
	NO	S20	966	48	324	3.78
	N60	S5	557	111	215	10.02
	N60	S10	485	49	163	3.80
	N60	S20	674	34	200	2.33
	N120	S5	76	15	11	0.51
	N120	S10	716	72	261	6.08
	N120	S20	1138	57	397	4.63

## Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración en la realización de los ensayos a Norma Pedemonte y flia., Carlos Garpari, Juan Carlos Pagani, Pedro y Lorenzo Rolando. Este trabajo fue financiado por el proyecto INTA AERN5656, el AGR 261/08 de la FCA-UNMP y con recursos de la Est. Exp. INTA Balcarce.

## Referencias

- Andrade, F.H., H.E. Echeverría, N.S. González y S.A. Uhart.** 2002. Capítulo 8: Requerimientos de nutrientes minerales. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. EEA INTA Balcarce-Fac. de Ciencias Agrarias UNMP. pp. 211-237.
- Barbieri, P.A., H.E. Echeverría y H.R. 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.
- Blanco Fernández, L.** 1998. Variación en la eficiencia de uso del nitrógeno en maíz ante cambios en la oferta de nitrógeno: mecanismos involucrados. Tesis de Magister. UNMP.
- Della Maggiora, A.I., A.I. Irigoyen, J.M. Gardiol, O. Caviglia y L. Echarte.** 2003. Evaluación de un modelo de balance de agua en el suelo para el cultivo de maíz. *Rev. Arg. de Agromet.* 2(2): 167-176.
- Calviño, P.A., F.H. Andrade y V.O. Sadras.** 2003. Maize yield as affected by water availability, soil depth, and crop management. *Agron. J.* 95:275-281.
- Ceccoti, S.P.** 1996. Plant nutrient sulphur: a review of nutrient balance, environment impact and fertilizers. *Fert. Res.* 43: 117-125.
- Cordone, G.F., F. Martínez, J. Capurro y R. Abrate.** 2001. Fertilización de maíz con nitrógeno y azufre en el centro-sur de la provincia de Santa Fe. VII Congreso Nacional de Maíz. ALANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.
- Echeverría, H.E.** 2002. Exploración de deficiencias de azufre en sistemas productivos del sudeste bonaerense. Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. *Boletín Técnico N° 156*. 19 p.
- Echeverría, H.E. y H.R. Sainz Rozas.** 2001. Eficiencia de recuperación del nitrógeno aplicado al estadió de seis hojas del maíz bajo riego en siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del Suelo*. 19:57-66.
- Ferraris, G.N. y L.A. Couretot.** 2006. Evaluación de diferentes dosis y momentos de aplicación de nitrógeno y su interacción con el azufre utilizando fuentes líquidas en el Norte de la Provincia de Buenos Aires. En: *Maíz en siembra directa*. Revista técnica AAPRESID. pp. 70-73.
- Ferraris, G.N., F. Salvagiotti, P. Prsyupa y F.H. Gutierrez Boem.** 2004. Disponibilidad de azufre y respuesta de la soja de primera a la fertilización. En: 19° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACs, Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos,

Argentina. 144 p.

Fontanetto, H., O. Keller, R. Inwinkelried, N. Citroni y F. García. 2000. Phosphorus and sulfur fertilization of corn in the Northern Pampas. Better Crops 14:1-5.

Martínez, F. y G. Cordone. 2000. Avances en el manejo del azufre: novedades en respuesta y diagnóstico en trigo, soja y maíz. En: Jornada de actualización para profesio-

nales (Rosario, Santa Fé). pp. 28-30.

Sainz Rozas, H.R., H.E. Echeverría y P.A. Barbieri. 2004. Nitrogen balance as affected by application time and nitrogen fertilizer rate in irrigated no-tillage maize. Agron. J. 96:1622-1631.

Snyder, C.S. y T.W. Bruulsema. 2007. Nutrient use efficiency and effectiveness in North America: indices of agronomic and environmental benefit. International Plant Nutrition Institute.

SAS Institute Inc. 1988. [CD-ROM]: Versión SAS/STAT. Users Guide. INC, Cary. Programa computacional.

Ventimiglia, L.A., H. Carta y S. Rillo. 2001. Respuesta del maíz al azufre: Resultados de tres años de experiencias a campo. Experimentación en campos de productores. Campaña 2000/01. UEEA INTA 9 de Julio. Buenos Aires, Argentina.

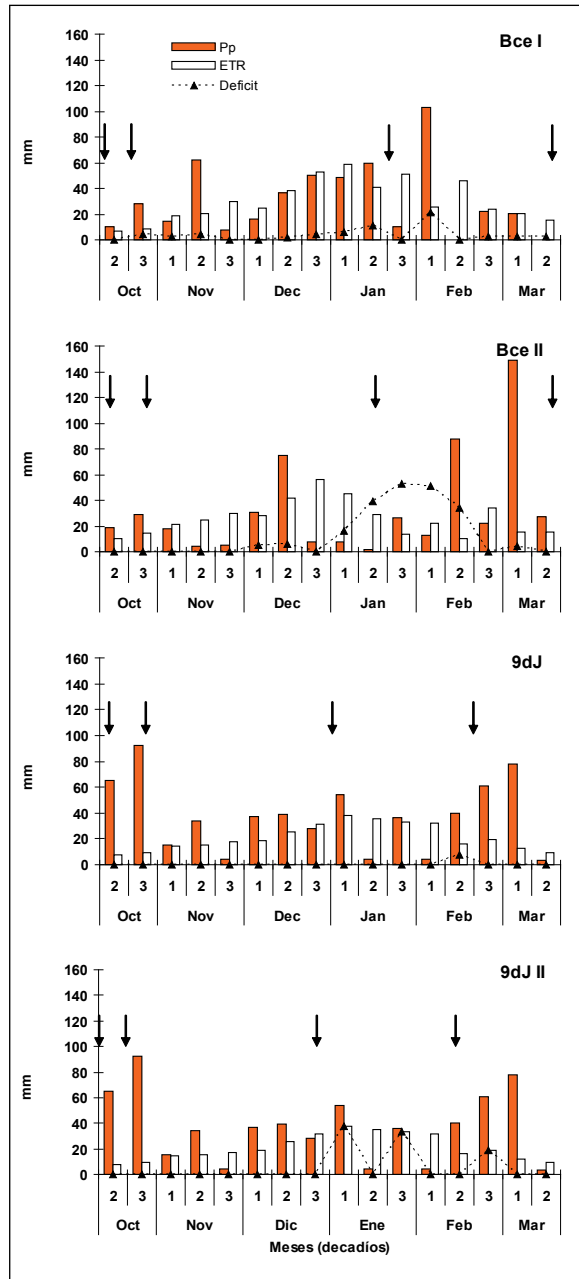


Figura 1. Precipitaciones (Pp), evapotranspiración real (ETR) y déficit hídrico decádico durante la estación de crecimiento del maíz para los tres experimentos. Bce I y II corresponden a los experimentos ubicados en las localidades de Balcarce durante las campañas 2005-06 y 2006-07, respectivamente; 9dJ I y II corresponden a los experimentos realizados en la localidad de 9 de Julio en las campañas 2006-07 y 2007-08, respectivamente. Las flechas indican los momentos de siembra, emergencia, floración y madurez fisiológica.

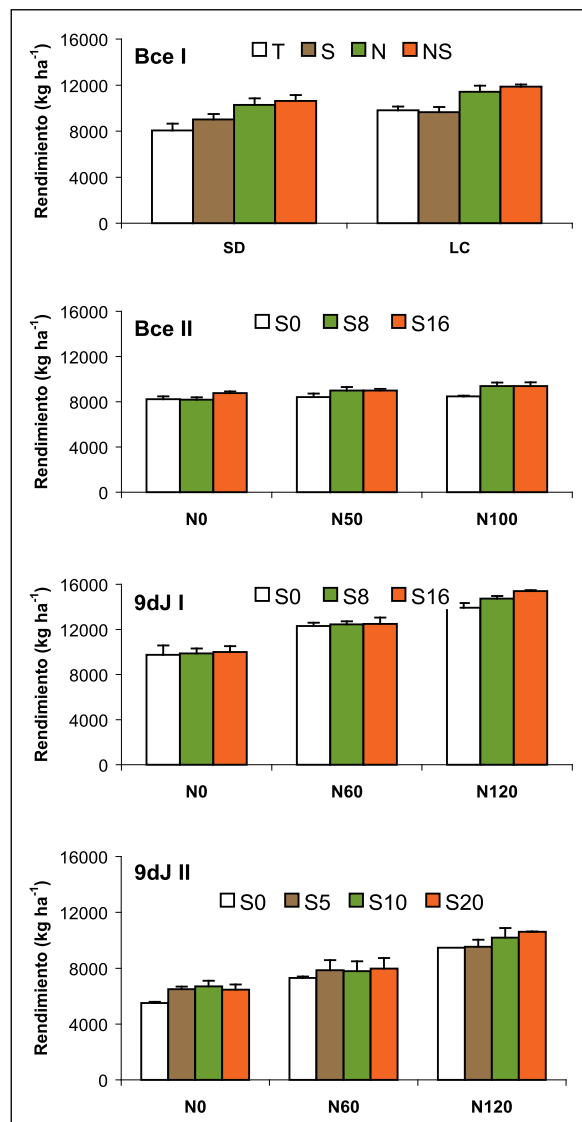


Figura 2. Rendimiento en grano (14% de humedad) en función del tratamiento (labranza/fertilización) para los cuatro experimentos. Bce I y II corresponden a los experimentos ubicados en Balcarce durante las campañas 2005-06 y 2006-07, respectivamente; 9dJ I y II corresponden a los experimentos realizados en la localidad de 9 de Julio en las campañas 2006-07 y 2007-08, respectivamente. Las barras indican los errores estándar.

# ADITIVIDAD EN LA RESPUESTA DE LOS CULTIVOS EXTENSIVOS A LA FERTILIZACIÓN CON DISTINTOS NUTRIENTES EN LA REGIÓN PAMPEANA

Roberto Álvarez

Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires –  
CONICET. Av. San Martín 4453 (1417) Buenos Aires, Argentina.  
ralvarez@agro.uba.ar

## Introducción

En el manejo de la fertilización de los cultivos extensivos, un aspecto que genera dudas al momento de realizar la interpretación y aplicación de los resultados de las redes experimentales es la posible interacción de la respuesta a un nutriente en función de la dosis aplicada de otro nutriente. Esta interacción hace que, por ejemplo, la respuesta al nutriente A dependa de la dosis aplicada de otro nutriente B (Black, 1993; Colwell, 1994). Si bien la interacción puede ser positiva o negativa, generalmente se espera que sea positiva. Cuando no existe interacción, las respuestas son aditivas. Esto implica que se suma la respuesta al nutriente A con la respuesta al nutriente B para determinar la respuesta total a la fertilización de la aplicación combinada de los dos nutrientes.

Teniendo en cuenta la existencia de interacción, para evitar tener limitaciones de otros nutrientes cuando se desarrollan modelos de recomendación de fertilización, comunmente esos otros nutrientes son aplicados al cultivo y se asume que no son limitantes. Así por ejemplo, en el caso de los cultivos de trigo y maíz en la Región Pampeana, para el desarrollo de modelos de recomendación de nitrógeno, comúnmente se ha realizado fertilización de base con fósforo a todos los tratamientos de los experimentos y viceversa, se han fertilizado todos los tratamientos de todos los experimentos con nitrógeno al generar curvas de respuesta a fósforo (Álvarez, 2007). Esto ha llevado a pensar que el otro nutriente habitualmente deficitario no era limitante, con lo cual la interacción entre nutrientes, de existir, era eliminada, obteniéndose modelos de respuesta a un nutriente sin efectos de interacción. Consecuentemente, los modelos de recomendación generados solo serían aplicables a situaciones donde el otro nutriente no sea limitante y, por consiguiente, no podrían hacerse cálculos económicos de respuesta a nitrógeno y fósforo a la vez, pues para que el modelo de nitrógeno sea aplicable, el fósforo no debe limitar y, de la misma manera, para que el modelo de fósforo pueda usarse, el nitrógeno debe haber sido aplicado en altas dosis. En la práctica, para resolver este dilema se apela muchas veces a fertilizar con fósforo usando otras metodologías que no evalúan respuesta ni retorno económico en el corto plazo, como reposición y enriquecimiento, haciéndose uso de modelos de respuesta y evaluaciones económicas sólo para el cultivo fertilizado con nitrógeno (Dobermann y Cassman, 2002).

Muy poco se ha estudiado si el efecto de interacción entre nutrientes en la respuesta a la fertilización es estadística y agrónomicamente significativo en la Región Pampeana. Por ello se han recopilado resultados de varias redes experimentales, donde se han testeado estadísticamente los efectos individuales de diferentes nutrientes sobre el rendimiento de varios cultivos y, también, la significan-

cia de la interacción entre ellos (Tabla 1). Para realizar esta recopilación se consideraron solo casos donde las respuestas individuales a todos los nutrientes aplicados fueran significativas, para evitar incluir estudios donde alguno de los nutrientes testeados no fuera limitante y, por lo tanto, el test de interacción careciera de interés. En la Tabla 1 puede observarse que en general no existen interacciones significativas, desde el punto de vista estadístico, entre nutrientes. Solo en un caso se detectó una interacción significativa entre la dosis de nitrógeno y la de fósforo aplicadas a trigo. Sin embargo, la magnitud del efecto interacción variaba, según las condiciones de sitio y manejo, entre 24 y 58 kg grano ha<sup>-1</sup>, careciendo de significancia agronómica. Por consiguiente, este efecto no tendría un impacto importante al momento de decidir las dosis a aplicar y podría ignorarse en la práctica.

Un problema de algunas de las metodologías usadas hasta el momento para detectar y cuantificar interacciones entre nutrientes es que el ruido ambiental, y la falta de balance entre tratamientos y condiciones experimentales, pueden hacer que las mismas no sean observadas. Así por ejemplo, técnicas de regresión polinómicas no han detectado como significativa la interacción entre las dosis de nitrógeno aplicadas a trigo y maíz y el nivel de nitrógeno mineral del suelo en la Pampa Ondulada (Álvarez y Grigera, 2005). Esta interacción es muy conocida y se ha probado su existencia muchas veces (Álvarez, 2007). Por ello mi objetivo ha sido, al preparar este trabajo, analizar si existe interacción entre nutrientes que afecten las respuestas de los principales cultivos pampeanos a la fertilización. Empleé para ello resultados de redes experimentales relativamente balanceadas, útiles para estudiar interacciones (Colwell, 1994). En estas redes, los tratamientos de fertilización son más o menos similares y aplicados en la mayoría de los experimentos de igual manera, estando sometidos por consiguiente a las mismas condiciones ambientales dentro de cada experimento. Esto disminuye enormemente el ruido ambiental permitiendo comparaciones más seguras entre tratamientos.

## Materiales y métodos

Se analizaron resultados de varias redes experimentales de fertilización de cultivos extensivos realizadas en la Región Pampeana, seleccionándose cinco para su uso en este trabajo (Tabla 2). La selección de las redes fue realizada sobre la base de los siguientes criterios: 1) adecuada descripción de los experimentos, 2) aplicación en cada experimento de combinaciones de dosis de nutrientes y las mismas dosis aplicadas en forma individual o en combinaciones más sencillas, 3) todos los tratamientos de fertilización dentro de cada experimento compartían las condiciones de sitio,



clima y manejo, solo difiriendo en la dosis de nutrientes aplicadas, 4) todos los promedios de los rendimientos de los tratamientos estaban disponibles y 5) las respuestas eran significativas a nivel de la red experimental a la aplicación de los nutrientes individuales.

Para la Región Semiárida Pampeana se seleccionaron una red de fertilización de trigo y otra de girasol (Bono et al., 1997, 1999, 2000). En ambas el diseño de los experimentos involucró un tratamiento testigo sin fertilización y tratamientos con aplicación de nitrógeno, fósforo y combinaciones de nitrógeno y fósforo en cada experimento. Las combinaciones de nutrientes se realizaron con dosis equivalentes a las aplicadas en los tratamientos no combinados. Cada experimento se realizó en un sitio diferente. Las respuestas a los nutrientes se calcularon como la diferencia entre cada tratamiento fertilizado y el testigo correspondiente al experimento. Se obtuvo así, para cada dosis, una respuesta individual a nitrógeno, una respuesta individual a fósforo y otra a la aplicación conjunta de nitrógeno y fósforo. El diseño de estas dos redes experimentales era ideal para estudiar el efecto interacción.

Para la Pampa Ondulada se usaron resultados de la Red CREA Sur de Santa Fe que involucró 13 experimentos de larga duración donde se aplicaron rotaciones que incluían trigo, maíz y soja (García et al., 2006). Los cultivos se repitieron al menos dos veces en cada sitio experimental. Se consideró cada combinación de sitio x año x cultivo como un experimento individual en este análisis. Los nutrientes aplicados fueron nitrógeno, fósforo y azufre. Los cultivos de trigo y maíz fueron fertilizados con nitrógeno, la soja no. El fósforo y azufre se aplicaron a trigo, maíz y soja de primera.

La soja de segunda recibió estos nutrientes pero aplicado en el trigo antecesor. Los tratamientos en cada experimento fueron testigo no fertilizado, fósforo + azufre, nitrógeno + azufre, nitrógeno + fósforo y nitrógeno + fósforo + azufre. Se calculó la respuesta a nitrógeno + fósforo + azufre combinados como la diferencia entre el rendimiento de este tratamiento y el testigo. Las diferencias entre los rendimientos del tratamiento con aplicación de los tres nutrientes y los tratamientos con aplicación de dos nutrientes representaron los efectos individuales de la fertilización con el nutriente faltante en la combinación de a dos nutrientes. El tratamiento fósforo + azufre recibió en algunos casos pequeñas dosis de nitrógeno que formaban parte de la fuente fosforada, las que no se tuvieron en cuenta para el análisis. El diseño de esta red no estaba pensado para el estudio de interacciones entre nutrientes y los resultados del análisis realizado aquí deben tomarse con precaución pues no existían tratamientos con aplicación de nutrientes individuales. Por la forma de calcular los efectos individuales de los nutrientes existe un parcial solapamiento de las interacciones. Sin embargo, en el caso que la respuesta a la aplicación combinada de nutrientes no difiera de la suma de los efectos individuales de los mismos, puede considerarse que no existieron interacciones. Cuando existen interacciones no puede cuantificarse adecuadamente su magnitud con este diseño, solo detectarlas.

La determinación de la significancia de la respuesta a la aplicación individual de cada nutriente y de las combinaciones, a nivel de red experimental, se realizó testeando si las respuestas promedio eran diferentes de 0 usando un test de t ( $P = 0.05$ ). Una vez que se determinó que todas las respuestas individuales

Tabla 1. Fuentes bibliográficas y principales características de redes experimentales donde se ha analizado en el pasado la interacción en la respuesta de los cultivos extensivos a la fertilización con varios nutrientes en la Región Pampeana.

Referencia	Región	Cultivo	Ensayos	Método de análisis	Campañas	Observaciones	Respuesta a N	Respuesta a P	Respuesta a S	Interacción
"Alvarez, Grigera 2005"	Pampa Ondulada	Trigo	10 + datos de lotes	Modelo de rendimiento	6	347	Significativa	Significativa		No significativa
"Alvarez, Grigera 2005"	Pampa Ondulada	Maíz	42 + datos de lotes	Modelo de rendimiento	6	323	Significativa	Significativa		No significativa
Barosela et al. 2008	P. Ondulada y Arenosa	Maíz	13	ANVA de la red	2	13	Significativa	Significativa		No significativa
Prystupa et al. 2006	Pampa Ondulada	Maíz	18	ANVA ensayo x ensayo	2	18		Sig. 56 % exp. <sup>1</sup>	Sig. 39 % exp. <sup>1</sup>	Sig. 0 % exp. <sup>1</sup>
"Ron, Loewy 2000"	SO Bonaerense	Trigo	19	Modelo de rendimiento	3	No indicado	Significativa	Significativa		Significativa
"Sain, Jauregui 1993"	Pampa Ondulada	Trigo	38	Modelo de rendimiento	2	No indicado	Significativa	Significativa		No significativa

<sup>1</sup>: Porcentaje de experimentos donde fue significativa la respuesta al nutriente o la interacción.

Tabla 2. Fuentes bibliográficas y principales características de las redes experimentales usadas en este trabajo.

Referencia	Cultivo	Región	N° Experimentos	N° Campañas	N° comparaciones <sup>1</sup>
Bono et al. 1997, 2000 <sup>2</sup>	Trigo	Semiárida Pampeana	28	4	224
Bono et al. 19992	Girasol	Semiárida Pampeana	56	6	119
García et al. 2006	Trigo	Pampa Ondulada	24	4	24
García et al. 2006	Maíz	Pampa Ondulada	23	4	23
García et al. 2006	Soja	Pampa Ondulada	35	6	35

<sup>1</sup>: En algunas redes existían diferentes combinaciones de dosis de nutrientes en un mismo experimento por lo que se generaron más pares de comparaciones que el número de experimentos realizados. <sup>2</sup>: Se dispuso de información adicional a la publicada sobre rendimientos y variables ambientales aportada por los autores.

y las combinaciones fueron significativas, se calculó la posible interacción entre nutrientes en las respuestas a la fertilización comparando por un test de *t* apareado las respuestas a las aplicaciones combinadas de nutrientes contra la suma de las respuestas a las aplicaciones individuales o la suma de los efectos de los nutrientes ( $P = 0.05$ ). Se consideró como par de datos los generados en cada experimento. En caso de no existir interacción significativa a nivel de red, las respuestas a las aplicaciones combinadas y las sumas de las respuestas a las aplicaciones individuales o efectos individuales no deberían diferir estadísticamente, indicando efectos aditivos. También, para los casos de las redes de trigo y girasol de la Región Semiárida Pampeana, se realizó un análisis gráfico de la posible existencia de interacciones entre nutrientes, experimento por experimento, para luego efectuar regresiones de las respuestas a las aplicaciones combinadas contra las sumas de las respuestas a las aplicaciones individuales y analizando la distribución de los datos alrededor de la línea 1:1. El signo y magnitud de las posibles interacciones se calculó como la diferencia entre las respuestas a las aplicaciones combinadas de nutrientes y

las sumas de las respuestas a las aplicaciones individuales. Se realizaron regresiones de las interacciones así estimadas contra variables de sitio, la disponibilidad de agua a la siembra y el rendimiento de los tratamientos testigos.

## Resultados y discusión

En ninguna de las redes experimentales analizadas se detectaron interacciones significativas en las respuestas a las combinaciones de nutrientes considerando todos los datos que integraban cada red en conjunto (Figs. 1, 2 y 3). Las respuestas promedio a las aplicaciones combinadas de nutrientes fueron similares a las sumas de las respuestas a las aplicaciones individuales o los efectos individuales. En consecuencia, a nivel de red, los efectos de la fertilización con varios nutrientes fueron aditivos en todos los casos.

El análisis gráfico de los resultados de las redes de trigo y girasol realizadas en la Región Semiárida Pampeana (Figs. 1 y 2) mostró que en muchos experimentos de cada red las

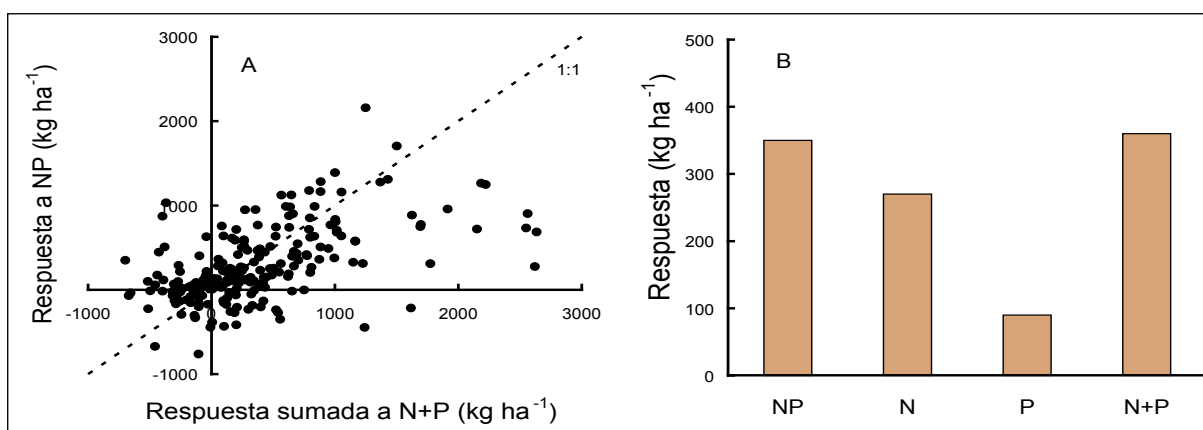


Figura 1. A: Relación entre la respuesta de trigo en la Región Semiárida Pampeana a la fertilización con nitrógeno y fósforo combinados (NP) y la suma de las respuestas a la fertilización individual con nitrógeno y con fósforo (N+P). La línea punteada representa una relación 1:1. B: respuesta promedio de toda la red experimental a la fertilización con nitrógeno y fósforo combinados (NP), solo con nitrógeno (N), solo con fósforo (P) y la suma de las respuestas a la fertilización individual con nitrógeno y con fósforo (N+P). Elaborado con datos de Bono et al. (1997, 2000) y otra información aportada por esos autores.

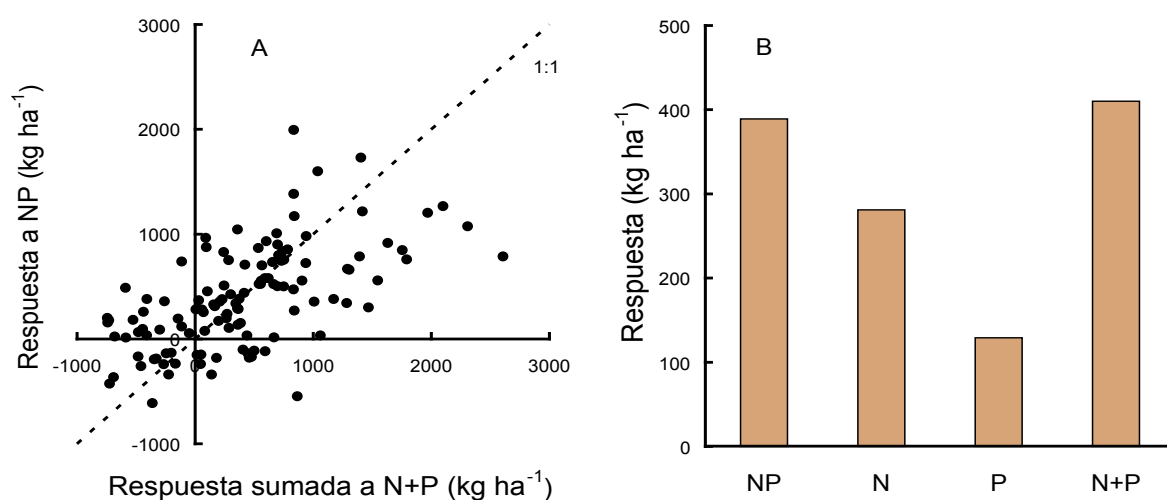


Figura 2. A: Relación entre la respuesta de girasol en la Región Semiárida Pampeana a la fertilización con nitrógeno y fósforo combinados (NP) y la suma de las respuestas a la fertilización individual con nitrógeno y con fósforo (N+P). La línea punteada representa una relación 1:1. B: respuesta promedio de toda la red experimental a la fertilización con nitrógeno y fósforo combinados (NP), solo con nitrógeno (N), solo con fósforo (P) y la suma de las respuestas a la fertilización individual con nitrógeno y con fósforo (N+P). Elaborado con datos de Bono et al. (1999) y otra información aportada por esos autores.

respuestas eran muy similares comparando las aplicaciones combinadas de nutrientes con las sumas de las aplicaciones individuales, estando los puntos sobre o muy cercanos a la línea 1:1. Sin embargo, en muchos otros casos los puntos quedaban muy por arriba o por debajo de dicha línea, indicando posibles interacciones positivas o negativas respectivamente. Las interacciones no correlacionaban con los rendimientos de los testigos, la humedad del suelo a la siembra de los cultivos, las precipitaciones durante el ciclo y los niveles de nitrógeno mineral y fósforo disponible iniciales. Por consiguiente, no fue posible predecir, usando variables de sitio y las precipitaciones, la tendencia de la interacción.

### Consideraciones finales

Ninguno de los antecedentes bibliográficos revisados, en los que se analizó la existencia y magnitud de las interacciones entre nutrientes, mostró que las mismas tengan incidencia importante en la respuesta de los cultivos a la fertilización. El análisis de las redes experimentales realizado aquí mostró similares resultados al considerar las respuestas medias de las redes. Algunos experimentos de algunas de las redes mostraron posibles interacciones positivas y otros negativas, no observándose interacciones en muchos otros casos. Estas tendencias no pudieron predecirse usando variables de fertilidad de suelo y de disponibilidad de agua. Por lo tanto, en el manejo de la fertilización en condiciones de producción, queda como única alternativa por el momento usar los escenarios medios. En éstos, las respuestas a la fertilización combinada con distintos nutrientes es de naturaleza aditiva. Pueden sumarse entonces las respuestas que se logran con distintos nutrientes para estimar la respuesta total del cultivo. Actualmente estos resultados adquieren más importancia en trigo que en otros cultivos pues se dispone de numerosas metodologías para cuantificar las respuestas del mismo a nitrógeno y a fósforo en varias subregiones pampeanas (Alvarez, 2007). Las respuestas que predicen esas metodologías pueden sumarse para el cálculo del retorno económico de la fertilización. En el caso que para la fertilización fosforada se aplicara una dosis mayor a la de reposición del cultivo, habría que considerar en la evaluación económica a largo plazo el efecto adicional de la residualidad del fósforo sobre la respuesta de los cultivos siguientes (Alvarez, 2008). A medida que se vayan desarrollando modelos de predicción de respuesta para otros cultivos y nutrientes se podría ir aplicando esta misma concepción para la predicción de la respuesta a varios nutrientes. Incentivar el estudio de las interacciones entre nutrientes parece una línea de investigación relevante para mejorar en el futuro las recomendaciones de fertilización,

con vista a la predicción de la magnitud de la interacción en cada escenario de producción.

### Bibliografía

- Alvarez R.** 2007. Fertilización de cultivos de granos y pasturas. Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana. Editorial Facultad de Agronomía-UBA, Buenos Aires, Argentina, 223 pág.
- Alvarez R.** 2008. Análisis de la conveniencia económica de utilizar umbrales fijos para recomendar la fertilización nitrogenada y fosforada de trigo. VII Congreso Nacional de Trigo, actas 18 pág.
- Alvarez R. y S. Grigera.** 2005. Analysis of soil fertility and fertilizer effects on wheat and corn yield in the Rolling Pampa of Argentina. *J. Agron. Crop. Sci.*, 191: 321-329
- Barosela H., M. Barraco, J.J. Cavo, E. Cassina, L. Couretot, G. Ferraris, E. Lemos, M. Lopez de Sabando, A. Martín, F. Mousegne, A. Paganini, R. Pontoni, R. Sola, G. Tellería y L. Ventimiglia.** 2008. Efecto aditivo del agregado de diferentes nutrientes en maíz en el norte, centro y oeste de la Provincia de Buenos Aires. *Fertilizar* 10: 16-27
- Black C.A.** 1993: Soil fertility evaluation and control. Lewis Publ., Boca Raton, 729 pág.
- Bono A., J.C. Montoya y F.J. Babinec.** 1999. Fertilización de girasol. Resultados obtenidos en tres años de estudio. Publicación Técnica N° 48 INTA Anguil, 26 pág.
- Bono A., J.C. Montoya y F.J. Babinec.** 2000. Dosis y momentos de fertilización en trigo en la Región Semiárida Pampeana. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas en CD, 4 pág.
- Bono A., J.C. Montoya, P. Lescano y F.J. Babinec.** 1997. Fertilización de trigo con nitrógeno y fósforo en la Región Semiárida Pampeana. Campaña 1996-1997. Publicación Técnica N° 47. EEA INTA Anguil
- Colwell J.D.** 1994: Estimating fertilizer requirements. CAB Int. Inglaterra, 259 pág.
- Dobermann A. y K.G. Cassman.** 2002. Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production systems of the United States and Asia. *Plant and Soil* 247: 153-175
- García F., M. Boxler, J. Minteguiga, R. Pozzi, L. Firpo, G. Deza Martín y A. Berardo.** 2006. La red de nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe. Ed. INPOFOS, 32 pág.
- Prystupa P., F. Salvagiotti, G. Ferraris, F. Gutierrez Boem, L. Couretot y D. Dignani.** 2006. Fertilización de maíz en norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe. II- Interacción fósforo x azufre. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, actas 5 pág.
- Ron M.M. y T. Loewy.** 2000. Modelo de fertilización nitrogenada y fosforada para trigo en el Sudoeste Bonaerense, Argentina. *Ciencia del Suelo* 18: 44-49
- Sain G.E. y M.A. Jauregui.** 1993. Deriving fertilizer recommendations with a flexible functional form. *Agron. J.* 85: 934-937. ■

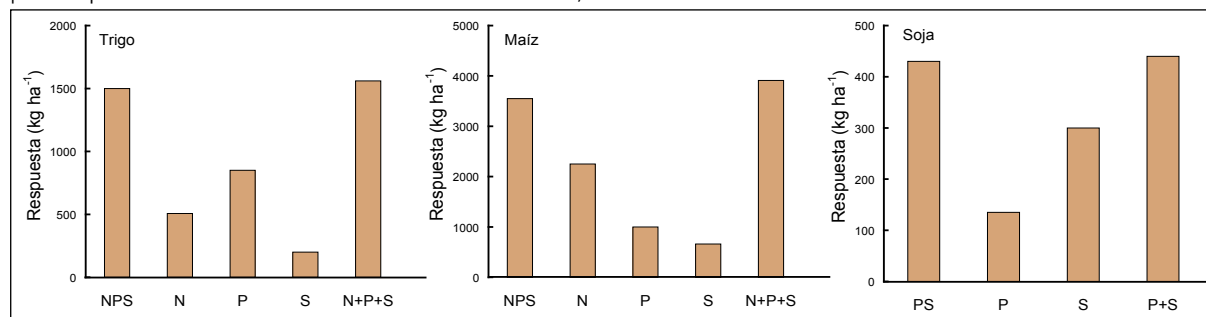


Figura 3. Respuestas promedio de trigo, maíz y soja de la Red CREA Sur de Santa Fe a la fertilización con nitrógeno, fósforo y azufre combinados (NPS), efecto del nitrógeno (N), efecto del fósforo (P), efecto del azufre (S) y suma de los efectos del nitrógeno, fósforo y azufre (N+P+S). Elaborado con datos de García et al. (2006).

# MODELO REGIONAL DE RESPUESTA DE MAÍZ AL NITRÓGENO CON VARIABLES SITIO-ESPECÍFICAS EN AMBIENTES SEMIÁRIDOS

Maria C. Gregoret<sup>1</sup>, Martín Díaz Zorita<sup>3</sup>, Julio Dardanelli<sup>2</sup>, y Rodolfo Bongiovanni<sup>1,2</sup>  
 (1) Proyecto PICTO 12931, (2) INTA Manfredi, Córdoba, Argentina, (3) CONICET-FAUBA y  
 Merck Crop Bioscience Argentina.  
 cgregoret@yahoo.com

Resumen de la presentación realizada en el XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis, Argentina. 13-16 de mayo de 2008.

## Introducción

La aplicación de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de maíz es una práctica esencial de su manejo. Las estrategias de manejo sitio-específico (o manejo localizado), denominadas de "agricultura de precisión" (AgP), podrían ser una alternativa para lograr mejoras en la producción y rentabilidad de los sistemas agrícolas al ajustar las dosis de fertilizantes según el tipo de suelo y otras condiciones de ambiente definidas en "zonas de manejo" (ZM). La combinación de variabilidad temporal y espacial de los rendimientos dificulta la toma de decisión en cuanto a las dosis a aplicar, requiriéndose el desarrollo de herramientas de diagnóstico adaptadas para el manejo eficiente de la fertilización nitrogenada según ZM (Bianchini et al., 2004). Si bien abundan los estudios que han abordado la problemática planteada (Bongiovanni, 2002; Liu et al 2006; entre otros), hay pocas evidencias de haber logrado un modelo de respuesta sitio-específica regional para Haplustoles, donde la variabilidad de las diferentes ZM existentes sea explicada con variables sitio-específicas como nitrógeno (N) y agua disponible al inicio del cultivo (AUI). Esta información permitiría mejorar los criterios de diagnóstico de dosis variable de fertilización (DVF) con N en maíz al incorporar información de variables espaciales y temporales de diagnóstico y recomendación. El objetivo de este estudio fue ajustar un modelo zonal de respuesta sitio-específica que contemple la variabilidad de ZM según niveles de disponibilidad inicial de N y de agua, considerando observaciones de monitores de rendimiento y usando análisis estadístico espacial, para ambientes semiáridos de la región pampeana.

## Materiales y métodos

El estudio se desarrolló a partir de los resultados de rendimientos durante las campañas agrícolas 2004-2005 y 2005-2006, considerando niveles de fertilización nitrogenada en 4 lotes con suelos Haplustoles representativos de la región semiárida central de la provincia de Córdoba, Argentina. Dos de ellos se sembraron en la campaña 2004-05 ("UCC" en Manfredi y "El Rodeo" en Río Primero)

y los otros dos en la campaña 2005-06 (Estación Experimental Agropecuaria Manfredi del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria "EEA INTA" y "Los Cerrillos" en Alta Gracia).

En cada sitio experimental se identificaron ZM como distintos ambientes presentes en cada lote según el análisis de mapas de elevación digital, eligiéndose esta característica debido a que hay información previa sobre el comportamiento de variables edáficas y por productividad, que están influenciadas por el clima y la topografía (Moore et al., 1993; Vieira et al., 2006). Esta identificación se realizó según el programa "Management Zone Analyst" (Mizzou-ARS, 2000) que permite hacer una agrupación difusa no supervisada de la información. "No supervisada" porque no requiere conocimientos previos de las variables a clasificar sino que produce las agrupaciones naturales de los datos y "difusa" porque permite que los datos que se están clasificando pertenezcan a distintos grupos. Como resultado de este análisis, en cada uno de los lotes, se definieron ambientes de alta productividad (AP) y de baja productividad (BP).

El diseño experimental consistió en 3 bloques completos aleatorizados, con los tratamientos de distintos niveles de fertilización de N dispuestos en franjas continuas atravesando las ZM identificadas en cada uno de los lotes. Los tratamientos incluyeron 6 niveles fijos de N: 0, 32, 64, 96, 129 y 161 kg N ha<sup>-1</sup>. Previo a la siembra, se tomaron muestras independientes de suelo en cada ZM determinándose el contenido de N de nitratos (N-NO<sub>3</sub>) hasta los 60 cm y el contenido de agua hasta los 200 cm de profundidad. Los datos fueron organizados en SStoolbox (SST, 2006) y para el análisis estadístico espacial de los resultados (Anselin, 1988), se utilizó el software "GeoDa" (Anselin, 2004). Este análisis fue dividido en 2 etapas: en la primera se evaluó si es posible integrar en una única función de respuesta a todos los sitios experimentales, estimando si la respuesta al N disponible (Nd), que presumimos va a ser distinta en las ZM en cada sitio experimental, será dependiente de su ubicación geográfica o si las ZM con diferentes productividades pueden alcanzar respuestas similares independientemente del sitio experimental en que se encuentren.

Este análisis se hizo según el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \alpha + \beta_1 Nd + \beta_2 Nd^2 + \gamma_1 AUI + \gamma_2 AUI^2 + \delta C + \phi Nd \times C + \kappa AUI \times C + \nu Nd \times AUI \times C + \varepsilon_{ij}$$

[1]

donde  $Y_{ij}$  es el rendimiento del maíz ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) por cada punto del monitor de rendimiento promediado,  $\alpha$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$ ,  $\delta$ ,  $\phi$ ,  $\kappa$  y  $\nu$  son los parámetros de la ecuación de regresión,  $Nd$  es el N disponible al inicio (N del fertilizante + el  $\text{N-NO}_3$  del suelo hasta 60 cm de profundidad) ( $\text{kg ha}^{-1}$ ),  $\delta C$  es una variable "dummy" por sitio experimental (C1: "Los Cerrillos", C2: "UCC", C3: "EEA INTA" y C4: "El Rodeo"),  $\phi Nd \times C$  es la interacción del  $Nd$  con los sitios experimentales,  $\kappa AUI \times C$  es la interacción del AUI con los sitios experimentales,  $\nu Nd \times AUI \times C$  es la interacción triple entre las variables regresoras y las dummies por cada sitio experimental y  $\varepsilon_{ij}$  es el término de error de la regresión por cada ubicación.

Tabla 1. Coeficientes estimados de la respuesta al N disponible al inicio (N del fertilizante + el  $\text{N-NO}_3$  del suelo hasta 60 cm de profundidad) y el agua útil al inicio hasta 200 cm de profundidad con variables "dummies" para cada sitio experimental para todas las zonas de manejo en cultivos de maíz de secano en Córdoba (Argentina) durante las campañas 2004-05 y 2005-06. \*\*\*, \*\*, \* y †: representan significancia a 0.001, 0.01, 0.1 y 0.15 nivel de probabilidad, respectivamente.

Parámetros	Coefficiente
Constante	8.417,65 NS
Nd	33,93 ***
Nd <sup>2</sup>	-0,07 ***
AUI	-25,43 NS
AUI <sup>2</sup>	0,06 NS
C1 (Los Cerrillos)	1.584,30 NS
C2 (UCC)	-4.482,31 NS
C3 (EEA INTA)	10.934,40 NS
C4 (El Rodeo)	-8036,48
Nd x C1	-19,65 ***
Nd x C2	0,64 NS
Nd x C3	10,51
Nd x C4	8,49
Nd <sup>2</sup> x C1	0,05 ***
Nd <sup>2</sup> x C2	-0,05 ***
Nd <sup>2</sup> x C3	0,04 ***
Nd <sup>2</sup> x C4	0,04
AUI x C1	-23,65 NS
AUI x C2	83,02 NS
AUI x C3	-122,20 NS
AUI x C4	62,83
AUI <sup>2</sup> x C1	0,07 NS
AUI <sup>2</sup> x C2	-0,42 NS
AUI <sup>2</sup> x C3	0,47 NS
AUI <sup>2</sup> x C4	-0,10
Nd x AUI x C1	0,01 NS
Nd x AUI x C2	0,10 ***
Nd x AUI x C3	-0,18 ***
Nd x AUI x C4	0,06
$\lambda$ (Lambda)	0,57 ***
R <sup>2</sup> Ajustado	0,69

Para poder comparar el efecto de los diferentes sitios experimentales (C) y de los términos de la interacción con la media de los C, se impuso la restricción que la sumatoria de las variables "dummy" sea igual a cero (Bongiovanni, 2002). Si los coeficientes individuales de las respuestas por sitios experimentales no son significativamente diferentes, sería factible la segunda etapa, que consiste en el diseño de un modelo unificado de respuesta para la región a partir de las variables sitio-específicas:

$$Y_i = \alpha + \beta_1 N_d + \beta_2 N_d^2 + \gamma_1 AUI + \gamma_2 AUI^2 + \delta N \times AUI + \varepsilon$$

[2]

donde nuevamente  $N_d$  es N disponible al inicio (N del fertilizante + el  $\text{N-NO}_3$  del suelo a 60 cm de profundidad) y AUI es el agua útil al inicio a 200 cm de profundidad. En ambas etapas se utilizó el modelo de "error espacial" con una matriz de ponderadores espaciales "Queen" (estructura de 8 vecinos con bordes y esquinas en común).

## Resultados y discusión

Los coeficientes de la regresión ajustados según Ec. [1] muestran que la información disponible no es suficiente para describir efectos significativos asociados a las variables "dummies" y sus interacciones con las variables sitio-específicas (Tabla 1). Este comportamiento sugiere que las respuestas de los cultivos al  $Nd$  en cada una de las ZM no fueron diferentes entre sitios experimentales, o sea que tuvieron más influencia en el rendimiento las variables sitio-específicas que elegimos para caracterizar a cada ZM que el sitio experimental al que pertenecían. Por lo tanto, sería factible intentar el diseño de un modelo unificado de respuesta según Ec.[2] a partir de las variables sitio-específicas seleccionadas para diagnosticar la dosis de fertilizante a aplicar según ZM predeterminadas por su productividad esperable (Tabla 2).

A partir del modelo unificado descrito en la Tabla 2,

Tabla 2. Coeficientes estimados de la respuesta al N disponible al inicio (N del fertilizante + el  $\text{N-NO}_3$  del suelo hasta 60 cm de profundidad) y el agua útil al inicio hasta 200 cm de profundidad según la ecuación [2] para todos los sitios experimentales y todas las zonas de manejo (ZM), en cultivos de maíz en las campañas 2004-2005 y 2005-2006 (Córdoba, Argentina). \*\*\*, \*\*, \* y †: representan significancia a 0.001, 0.01, 0.1 y 0.15 nivel de probabilidad respectivamente.

Parámetros	Coefficientes
Constante	4.860 ***
Nd	39.69 ***
Nd <sup>2</sup>	-0.10 ***
AUI	16.18 ***
AUI <sup>2</sup>	-0.06 ***
Nd x AUI	0.01 ***
$\lambda$ (Lambda)	0.74 ***
R <sup>2</sup> Ajustado	0.63



se representaron las curvas de respuesta al Nd según el contenido de AUI de las ZM de cada sitio experimental y niveles de Nd hasta 60 cm de profundidad (Fig. 1). Bianchini et al. (2004), por medio de una relación cuadrática entre rendimientos y disponibilidad de N en el momento de la siembra de maíz en Córdoba (Argentina), si bien no diferenció entre ZM, describió similares niveles de disponibilidad de N a los observados en este estudio (Figs. 1a y 2b). En su estudio estimó una disponibilidad de 130 kg ha<sup>-1</sup> de N-NO<sub>3</sub> a 0-60 cm de profundidad a la siembra para alcanzar rendimientos de maíz de 10000 kg ha<sup>-1</sup>. Dada la interacción positiva entre Nd y AUI, la respuesta esperada en kg de maíz al primer kg de aumento en la disponibilidad de N tendió a ser mayor en las ZM de AP que en las de BP; 36,0 y 35,4 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabla 2). En general, las DOA y DOE no mostraron diferencias relevantes entre ZM (Figura 2).

Ruffo (2003), en un estudio en la región sur y central de Illinois (EUA), también describió similares resultados, reuniendo en un mismo modelo campos de dos localidades y utilizando diferentes variables sitio-específicas, algunas relacionadas con la topografía y otras con propiedades de los suelos tales como el índice de disponibilidad de N y las precipitaciones. A partir de la información disponible, se planteó el análisis estimado de la contribución aparente de dosificaciones variables de N según ZM con respecto a dosis de fertilización uniformes dentro de cada lote. Estas últimas se estimaron sin discriminar entre ZM, utilizando el promedio de la información de AUI y de Nd. En ambas estimaciones se consideraron los niveles del contenido de agua y de Nd hasta 200 cm y 60 cm de profundidad, respectivamente (Tabla 3). Al comparar las estrategias estimadas de fertilización variable o promedio y considerando a cada sitio experimental como una repetición, se observa que en promedio para las condiciones evaluadas, la información disponible no sería suficiente para determinar diferencias significativas en cuanto a las dosis de N de fertilizante (Nf) a aplicar para alcanzar máximos rendimientos, en los rendimientos máximos estimados o en la eficiencia de utilización del Nf (EUNf) (Tabla 4). Los resultados de rendimientos, DOA, Nf a aplicar o

EUNf no mostraron diferencias relevantes entre análisis promedios o ponderados según superficies de ZM entre lotes. Ruffo (2003) obtuvo resultados similares al estimar la cantidad de N a aplicar en dosis fija en comparación con aplicaciones de dosis variables a partir de calcular las DOE en Illinois (EUA).

## Conclusiones

Los rendimientos de maíz variaron según las ZM, siendo mayores al aumentar la disponibilidad de agua y de N a la siembra. Se ajustó un modelo cuadrático integral de respuesta incluyendo todas las ZM y lotes de producción evaluados en este estudio. La información disponible no fue suficiente para describir diferencias significativas en los niveles de DOA y DOE entre las ZM. Los resultados en rendimientos, DOA, Nf a aplicar o EUNf en estos sitios de la región semiárida del área centro de Córdoba muestran que la variabilidad entre ZM no fue suficiente para detectar diferencias significativas entre aplicaciones de dosis de fertilización nitrogenadas uniformes o variables según ZM. Por lo tanto, para alcanzar contribuciones significativas de prácticas de dosis variables de fertilización, sería necesario encontrar condiciones de heterogeneidad en términos de oferta inicial de Nd y de agua mayores a las descritas en este

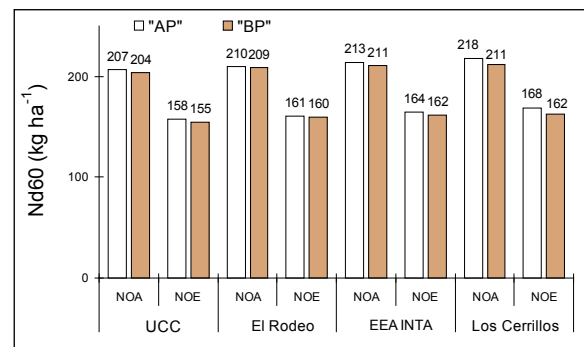


Figura 2. Disponibilidad óptima agronómica (DOA) y económica (DOE) de N (fertilizante + suelo) hasta los 60 cm de profundidad según zonas de manejo de baja productividad ("BP") y de alta productividad ("AP") de maíz en Córdoba (Argentina) en las campañas 2004-05 y 2005-06.

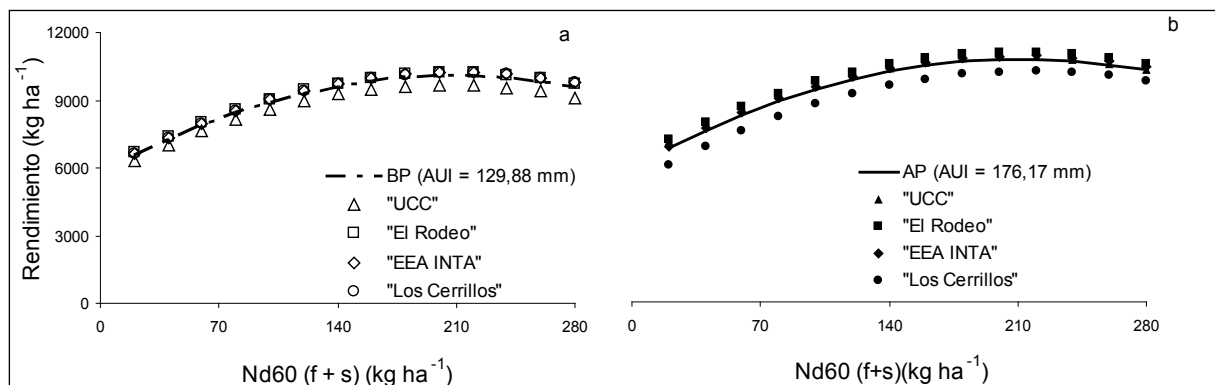


Figura 1. Rendimientos de maíz estimados según el N disponible (N del fertilizante + N-NO<sub>3</sub> del suelo hasta 60 cm de profundidad) y el agua útil al inicio hasta 200 cm de profundidad en la siembra según zonas de manejo (ZM) (a) de baja productividad ("BP") y (b) de alta productividad ("AP") en la campaña 2004-05 y 2005-06 en Córdoba (Argentina).

estudio, que podrían ser generadas bajo condiciones de mayor pendiente a las estudiadas.

## Agradecimientos

Esta investigación se realizó en el marco del proyecto PICTO 12.931 y de la tesis de maestría de la primer autora y fue posible en gran parte gracias al apoyo de profesionales del Proyecto Agricultura de Precisión del INTA.

## Bibliografía

**Anselin L.** 1988. Spatial Econometrics: Methods and Models. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. Netherlands.  
**Anselin L.** 2004. GeoDa, A software program for the analysis of spatial data, Version 0.9.5-i5 (Aug 3, 2004). Spatial analysis laboratory, Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois, Urbana-Champaign, Urbana, IL (EUA). Programa disponible en <https://geoda.uiuc.edu/>. Consultado el 23/08/2004.  
**Bianchini A., M.E. Magnelli D. Canova, S. Lorenzatti, D. Peruzzi, J. Rabasa, A. Begnis y F. García.** 2004. "Diagnóstico de fertilización nitrogenada para maíz en siembra

directa" Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (CD). Paraná, Argentina.

**Bongiovanni R.** 2002. A spatial econometrics approach to the economics of site-specific nitrogen management in corn production. Ph.D. Thesis, Department of Agricultural Economics, Purdue University, West Lafayette, IN (EUA), 280 p.

**Liu Y., S.M. Swinton y N.R. Millar.** 2006. Is site specific yield response consistent over time? Does it pay? American Journal of Agricultural Economics 88: 471-483.

**Moore I.D., P.E. Gessler, G.A. Nielsen y G.A. Peterson.** 1993. Terrain analysis for soil specific crop management. In P.C. Robert et al. (ed.) Soil specific crop management. A workshop on research and development issues. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI (EUA), p. 27-55.

**Ruffo M.** 2003. Development of site-specific production functions for variable rate corn nitrogen fertilization. Ph.D. Thesis. Dept. of Crop Sciences. University of Illinois at Urbana – Champaign, IL (USA), 121 pp.

**Vieira S.R., C.R. Grego, G.M. Siqueira, F.M. Miguel y F.A. Pavlu.** 2006. Variabilidad espacial del almacenamiento de agua del suelo bajo siembra directa. Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta (Argentina). p.178. ■

Tabla 3. Producción de maíz y eficiencia de utilización del N del fertilizante estimados en 4 sitios experimentales y sus zonas de manejo (ZM) con los promedios aritméticos del N disponible al inicio (N del fertilizante + el N-NO<sub>3</sub> del suelo hasta 60 cm y el agua útil al inicio hasta 200 cm de profundidad) para cada sitio experimental a partir del modelo unificado (ecuación [2]) en cultivos de maíz en las campañas 2004-2005 y 2005-2006 en la región central de Córdoba, Argentina.

Sitio experimentales		"UCC"		"El Rodeo"		"EEA INTA"		"Los Cerrillos"	
		"BP"	"AP"	"BP"	"AP"	"BP"	"AP"	"BP"	"AP"
Análisis ponderado por ZM	DOA (kg N ha <sup>-1</sup> )	204	207	209	210	211	213	211	218
	Ns a 60 cm (kg N ha <sup>-1</sup> )	21	26	30	43	88	63	61	57
	Nf a aplicar (kg N ha <sup>-1</sup> )	183	180	179	167	123	150	150	161
	Proporción ZMs (%)	56%	44%	21%	79%	51%	49%	41%	59%
	Nf a aplicar ponderado (kg N ha <sup>-1</sup> )	182		170		137		156	
	Rendimiento ponderado (kg ha <sup>-1</sup> )	9853		10246		10173		10157	
	EUNf (kg grano kg N <sup>-1</sup> )	18.1	17.9	17.7	16.6	12.2	14.9	14.9	15.9
EUNf pond. (kg grano kg N <sup>-1</sup> )	18.0		16.8		13.5		15.5		
Análisis promedio	DOA promedio (kg N ha <sup>-1</sup> )	205		210		212		214	
	Ns a 60 cm promedio (kg N ha <sup>-1</sup> )	24		37		76		59	
	Nf a aplicar promedio (kg N ha <sup>-1</sup> )	182		173		137		155	
	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	9898		10245		10190		9721	
	EUNf (kg grano kg N <sup>-1</sup> )	18.0		17.1		13.6		15.4	

DOA: Disponibilidad óptima agronómica. DOA promedio: Disponibilidad óptima agronómica promedio aritmético de cada sitio experimental. Rendimiento ponderado: Producción lograda ponderada por la superficie de cada ZM con esa DOA. Rendimiento: Producción lograda con esa DOA promedio aritmético de cada sitio experimental. Ns a 60cm: N-NO<sub>3</sub> disponible hasta los 60 cm. Nf a aplicar ponderado: N a aplicar con fertilizante diferencia entre la DOA y el Ns ponderado por la superficie de cada ZM. Ns a 60 cm promedio: N-NO<sub>3</sub> disponible hasta los 60 cm promedio aritmético de cada sitio experimental. EUNf: Eficiencia de utilización del N del fertilizante [(Rendimiento con N DOA – Rendimiento con Ns)/Nf].

Tabla 4. Evaluación de la dosis de N de fertilizante a aplicar (Nf), el rendimiento alcanzado con la dosis óptima agronómica (Rto) y la eficiencia de utilización del N aplicado (EUNf) según estrategias de cálculo variables por ZM (Var.) y promedio (Prom.). NS = no significativo (p<0.05).

Sitio experimental	Nf		Rto		EUNf	
	(kg ha <sup>-1</sup> )		(kg ha <sup>-1</sup> )		(kg gr kg N <sup>-1</sup> )	
	Prom	Var	Prom	Var	Prom	Var
"UCC"	182	182	9898	9853	18.0	18.0
"El Rodeo"	173	170	10245	10246	17.1	16.8
"EEA INTA"	137	137	10190	10173	13.6	13.5
"Los Cerrillos"	152	93	9721	12262	15.4	15.5
Promedio	161	169	10013	10633	16.0	16.7
Nivel de significancia	NS		NS		NS	

# NIVEL CRÍTICO DE FOSFORO Y AZUFRE EN SUELOS DEL SUR DE CÓRDOBA PARA EL CULTIVO DE SOJA

Gabriel P. Espósito, Carlos A. Castillo, Guillermo R. Balboa y Ricardo G. Balboa  
Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.  
gesposito@ayv.unrc.edu.ar

Presentado al XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (AACs). San Luis, 13-16 de Mayo de 2008

## Introducción

El incremento en las actividades agrícolas en las últimas décadas produjo una gran extracción de nutrientes del suelo, los cuales no fueron repuestos en similar proporción, siendo los más afectados aquellos que provienen de la materia orgánica, como el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el azufre (S) (García, 2000).

En los últimos años, el sistema de siembra directa ha tenido gran difusión debido a diferentes ventajas operativas y ambientales (Agostini, 2006). Como consecuencia del uso de esta práctica, es factible esperar una menor mineralización del S de los componentes orgánicos del suelo (Relun, 2005).

La fisiología de los cultivos requiere una adecuada provisión nutricional, principalmente de N, P y S. El S está involucrado en procesos importantes como aquellos ligados a la nutrición nitrogenada (como parte de la nitrogenasa, enzima responsable de la fijación biológica), o de otras enzimas encargadas de la transformación del nitrógeno inorgánico en aminoácidos. La estructura de las proteínas de reserva (aproximadamente 40% del grano), están constituidas por aminoácidos esenciales como metionina, cisteína y cistina que tienen S en su estructura (Castillo et al., 2006; Marschner, 1995).

Al ser un nutriente poco móvil en la planta, sus deficiencias suelen observarse inicialmente en las hojas jóvenes que se presentan amarillentas o cloróticas. En estados posteriores, las deficiencias de S pueden ser confundidas con las de N (Galarza et al., 2002).

Para realizar adecuados diagnósticos de las necesidades de fertilización, es necesario conocer cuáles son los niveles mínimos o críticos de disponibilidad en el suelo a partir del cual un nutriente pasa a ser deficitario de la producción vegetal (Maddoni et al., 2004). En este sentido, Ferraris y Couretot (2004) informaron que la fertilización fosfatada incrementa los rendimientos de soja cuando la disponibilidad de P en la capa superficial de suelo (0-20 cm) es menor a 12 mg kg<sup>-1</sup> y Díaz Zorita (2002) no encontraron respuesta a la fertilización fosfatada de la soja en suelos con más de 20 mg kg<sup>-1</sup> de P en los primeros 20 cm de suelo.

Las respuestas al S han sido observadas principalmente en suelos degradados, con muchos años de agricultura continua (especialmente soja), y con historia de cultivos de alta producción con fertilización nitrogenada y fosfatada (Martínez y Cordone, 1998). Estas condiciones definen los ambientes de mayor probabilidad de respuesta a la fertilización azufrada.

A los efectos de visualizar la conveniencia económica de la fertilización, se puede emplear el método del análisis mar-

ginal. Dicho análisis compara el ingreso económico generado por el aumento de la producción al incrementar los niveles de insumo (producción marginal) con el incremento del costo que resulta de adquirir y aplicar estos insumos (costo marginal). Si esta comparación resulta positiva, es decir que el beneficio marginal es positivo, la tecnología evaluada es recomendable (Botta et al., 2002).

El objetivo del presente trabajo fue determinar los niveles críticos de P y S en suelos del sur oeste de la provincia de Córdoba, en función de la variabilidad en la relación de precios insumo/producto, frecuente en la economía de nuestro país.

## Materiales y Métodos

Se implantaron en total nueve ensayos de soja. En la campaña agrícola 2004/05 se realizaron dos ensayos en las localidades de San Basilio (Est. San Juan) y Holmberg (Est. San Beltrán). En 2005/06 se establecieron tres ensayos en las localidades de Bengolea, (Est. El Pericón), La Aguada (Campo Pozo del Carril, FAV, UNRC) y Río Cuarto (Campo Exp. FAV, UNRC). Finalmente, en 2006/07, se realizaron cuatro ensayos en las zonas rurales de Melo (Est. Rhenania 2), Gral. Levalle (Est. La Escondida), Río Cuarto (Campo Experimental FAV, UNRC) y La Aguada (Campo Pozo del Carril, UNRC).

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados, con arreglo en parcelas divididas, con cuatro repeticiones espaciales por tratamiento. El factor principal fue el S, constituido por 3 dosis (0, 13 y 26 kg S ha<sup>-1</sup>), mientras que el factor secundario fue el P, constituido por 4 dosis (0, 23, 34.5 y 46 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>). Se utilizó fosfato tricálcico como fuente de P y tiosulfato de amonio como fuente azufrada. Las diferencias de N aplicado con las distintas dosis de azufre se corrigieron con cantidades equivalentes de N como UAN (28, 14 y 7 litros ha<sup>-1</sup> en las dosis de 0, 13 y 26 kg S ha<sup>-1</sup>, respectivamente).

Los fertilizantes fosforados se aplicaron al momento de la siembra, incorporándolos al suelo por debajo y al costado de la línea de siembra. El S se aplicó chorroado con equipo pulverizador (provisto de una fuente de presión con CO<sub>2</sub>) inmediatamente después de la siembra. El tamaño de las parcelas fue de 20 metros de largo por 6 surcos de ancho. La cosecha se realizó recolectando la totalidad de la parcela en forma mecánica. Los rendimientos se expresaron en kg ha<sup>-1</sup> de acuerdo a las bases de comercialización. Los resultados fueron analizados mediante análisis de regresión lineal empleando el programa InfoStat (2004).

## Resultados

En la Tabla 1 se observan las condiciones edáficas de los sitios en los cuales se realizaron los ensayos, en donde la MO varió entre 1.4% en La Aguada hasta 2.6% en La Escondida. Se encontraron valores de P disponible (Bray 1; 0-15 cm) entre 8.1 mg kg<sup>-1</sup> y 30.5 mg kg<sup>-1</sup>, mientras que los niveles de S como sulfatos oscilaron entre 7.5 y 23 mg kg<sup>-1</sup>. Esta variación de resultados edáficos justifica la selección de los sitios experimentales al contemplar suelos con aceptable y baja fertilidad. En la misma tabla también se puede observar la disponibilidad inicial de agua en el primer metro de profundidad del suelo, cuyos valores alcanzaron entre 73 y 130 mm.

Las abundantes precipitaciones que ocurrieron durante las campañas de soja condujeron a rendimientos entre 2570 y 4450 kg ha<sup>-1</sup> (Tabla 2). La soja respondió positivamente a la fertilización fosforada y azufrada en El Pericón, La Aguada (06/07) y Rhenania, mientras que se observaron respuestas sólo a la fertilización fosforada en La Aguada (05/06). En Rhenania la interacción P x S fue significativa. No se observaron respuestas a la fertilización fosforada o azufrada en San Juan, San Beltrán, Río Cuarto y La Escondida.

Como se puede apreciar en la Figura 1, se relacionó la respuesta al agregado de P con el contenido de este nutriente en el suelo al momento de la siembra. Utilizando el ajuste lineal obtenido en los sitios con respuesta a la fertilización (rombos), se determinó el valor umbral a partir del cual la respuesta en kg grano por hectárea comenzó a ser positiva. El valor obtenido de la ecuación  $y = -42.71x + 787.05$  fue de 18 mg kg<sup>-1</sup> de P. Las excelentes condiciones climáticas podrían explicar por qué el valor umbral fue superior al planteado por Ferraris y Couretot (2004) (alrededor de 12 mg kg<sup>-1</sup>).

Como el nivel crítico de P se determinó teniendo en cuenta los costos del fertilizante y los del grano de soja, los resultados son dependientes de la relación de precios. Por ejemplo, considerando la dosis promedio de cada ensayo, cercana a los 80 kg ha<sup>-1</sup> de SFT y una relación insumo/producto de 4.5 (0.9 U\$S kg SFT ha<sup>-1</sup> y el valor neto de la soja a 0.2 U\$S kg<sup>-1</sup>) es necesario una respuesta de 360 kg ha<sup>-1</sup> de soja para afrontar el gasto de fertilización. Esta relación resultaría en un nivel crítico como umbral económico de 10 mg kg<sup>-1</sup>.

Como existe una elevada variabilidad en la relación insumo/producto, en la Tabla 3 se puede analizar la

sensibilidad del nivel crítico ante cambios en la relación. A medida que el precio del fertilizante aumenta, independientemente del precio de soja, el nivel crítico disminuye como consecuencia de una mayor necesidad de producto para afrontar los gastos de la fertilización. Por el contrario, cuando el precio de soja se incrementa, el nivel crítico disminuye como consecuencia de la menor necesidad de producto para solventar los gastos.

La respuesta de la soja al agregado de S como tiosulfato de amonio se relacionó con el nivel de S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup> del suelo al momento de la siembra (Figura 2).

De forma análoga a lo discutido en la Figura 1, el nivel crítico a partir del cual la respuesta al S es positiva es de 9.7 mg kg<sup>-1</sup> de S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup>. Considerando que los 13 kg ha<sup>-1</sup> de S fueron aplicados como 50 L ha<sup>-1</sup> de tiosulfato de amonio a un costo de 22.5 U\$S, la respuesta de soja necesaria para cubrir el mismo sería de 112.5 kg ha<sup>-1</sup>. Por lo tanto, el valor umbral económico de S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup> del suelo al momento de la siembra sería de 9 mg kg<sup>-1</sup>. Estos umbrales son coincidentes con los 10 mg kg<sup>-1</sup> planteados por García (2000).

En la Tabla 4, se puede observar el análisis de sensibilidad del nivel crítico del S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup> ante cambios en la relación insumo-producto, el cual puede ser interpretado análogamente a lo planteado en la discusión de la oferta de P.

## Conclusiones

En virtud de los resultados obtenidos, se concluye que los niveles críticos a partir de los cuales es factible esperar respuesta en rendimiento a la fertilización con fósforo y azufre en el cultivo de soja son: 18 mg kg<sup>-1</sup> de P y 9 mg kg<sup>-1</sup> de S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup>. No obstante, la relación de precios insumo/producto hace variar el nivel crítico de cada nutriente a partir del cual la fertilización se torna rentable.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a los productores agropecuarios que facilitaron sus establecimientos para la realización de los ensayos y la colaboración brindada durante su desarrollo.

## Bibliografía

Agostini A. 2006. Compactación por pisoteo animal en planteos de producción mixta bajo siembra directa. Facultad de Agronomía Facultad de Cs. Agrarias y Forestales (UNLP).

Tabla 1. Caracterización edáfica de los sitios experimentales

Sitio	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Campaña	04/05	04/05	05/06	05/06	05/06	06/07	06/07	06/07	06/07
MO (%)	2.02	2.02	1.6	1.73	1.9	1.7	2.56	1.37	1.55
Dap 0-20 cm (g m <sup>-3</sup> )	1.29	1.29	1.32	1.25	1.22	1.29	1.25	1.25	1.25
Dap 20-40 cm (g m <sup>-3</sup> )	1.32	1.32	1.27	1.28	1.26	1.31	1.28	1.31	1.28
Fosforo 0-15 cm (mg kg <sup>-1</sup> )	18	30.5	12	14.7	22	26.1	25.6	8.1	16.3
pH	6.7	6.9	6.5	6.9	7.1	6.8	7.2	6.5	6.9
S-SO <sub>4</sub> 0-20 cm (mg kg <sup>-1</sup> )	21	15	9	18	23	7.5	9.9	7.1	9
Agua a 1m (mm)	125	120	130	87	75	84	77	73	83

Sitios = 1 San Juan. 2 San Beltrán. 3 El Pericón. 4 La Aguada 05/06. 5 UNRC 05/06. 6 Rhenania. 7 La Escondida. 8 La Aguada 06/07. 9 UNRC 06/07. Dap: Densidad aparente.

**Botta F., R. E. Albrech, H. S. Vivas, H. M. Fontanetto y J. L. Othian.** 2002. Resultados económicos de distintas alternativas de fertilización en el sistema trigo – soja. Anuario 2002. Agronomía. EEA INTA Rafaela.:1-6.

**Castillo C., Esposito G., Balboa R.** 2006. Fertilización del Maíz en el Sur de Córdoba. Interacción entre Nitrógeno y Azufre. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Primera Reunión de Suelos de la Región Andina Salta Argentina. Comisión 3.:300.

**Díaz Zorita M.** 2002. La fertilización de soja y trigo/soja en la región pampeana: Red del proyecto Fertilizar INTA. Actas de la Jornada de actualización para profesionales “Fertilidad 2002”, INPOFOS. Cono Sur, Rosario, Argentina.:37-42.

**Ferraris G. y L. Couretot.** 2004. Fertilización fosforada en soja. Diagnóstico y tecnología de aplicación. Revista de Tecnología Agropecuaria, EEA INTA Pergamino, IX (26): 46-49.

**Galarza C., V. Gudelj y P. Vallote.** 2002. Fertilización del cultivo de soja. Información para Extensión N° 69. EEA INTA Marcos Juárez.

**García F.** 2000. Avances en Investigación y Experimentación en

Fertilización de Cultivos Extensivos en Argentina. INPOFOS/PPI/ PPIC Cono Sur. Tercera Conferencia Fertilizantes Cono Sur organizada por British Sulphur Pub. Punta del Este (Uruguay).

**Infostat.** 2004. Infostat versión 2004. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

**Maddoni G., Ruiz R., Vilarriño P. e I. García de Salamote.** 2004. Fertilización en los cultivos para grano. En: Satorre, E. H.; R. L. Benech Arnold; G. A. Slafer; E. B. de la Fuente; D. J. Miralles; M. E. Otegui y R. Savin. (autores). Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Facultad Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina:501-557.

**Marschner H.E.** 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academic Press. London/ San Diego/ New York/ Boston/ Sydney/ Tokio, p: 889

**Martínez F. y G. Cordone.** 1998. Fertilización azufrada en soja. Jornadas de Azufre. UEEA INTA Casilda, Septiembre 1998. Casilda, Santa Fe, Argentina.

**Relun G.** 2005. Sulfur Management for Corn Growth with Conservation Tillage. Soil Sci Soc Am J 69:709-717. ■

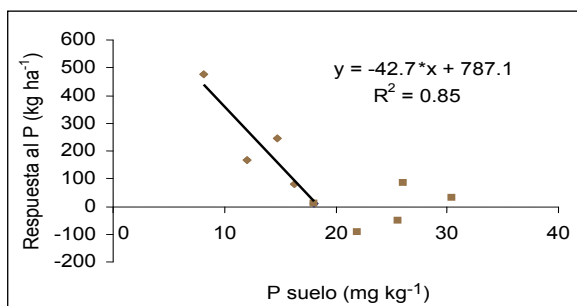


Figura 1: Respuesta en rendimiento de soja al agregado de P según nivel de P (Bray I) del suelo a la siembra. Datos de 9 ensayos (2004-2007). \* indica ajuste lineal significativo al 5% de probabilidad.

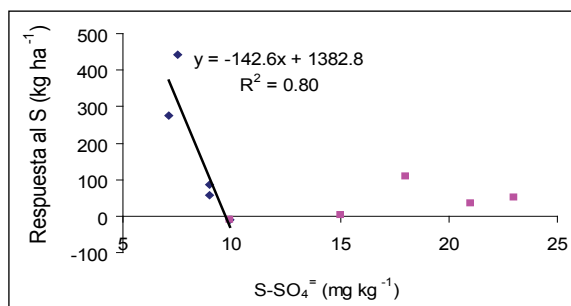


Figura 2: Respuesta en rendimiento de soja al agregado de S según nivel de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> del suelo a la siembra. Datos de 9 ensayos (2004-2007). \* indica ajuste lineal significativo al 5% de probabilidad.

Tabla 2. Rendimiento de soja (kg ha<sup>-1</sup>) para distintos niveles de P y S. Ensayos realizados en las campañas 2004/05 y 2005/06.

Tratamiento	SJ 04/05	SB 04/05	EP 05/06	LA 05/06	RC 05/06	LA 06/07	RC 06/07	RH 06/07	LE 06/07
46 kg P ha <sup>-1</sup>	3554 a	4074 a	3231 a	2946 a	2598 a	3355 a	3464 a	4280 a	4321 a
34.5 kg P ha <sup>-1</sup>	3493 a	4054 a	3257 a	2875 a	2596 a	3271 a	3410 a	4045 b	4454 a
23 kg P ha <sup>-1</sup>	3455 a	4044 a	3116 b	2794 a	2604 a	3187 a	3356 a	3950 b	4379 a
0 kg SFT ha <sup>-1</sup>	3482 a	4025 a	3088 b	2625 b	2694 a	2808 b	3330 a	3958 b	4397 a
DMS (0.05)	140	73	97	159	222	338	194	205	431
26 kg S ha <sup>-1</sup>	3428 a	4051 a	3191 a	2685 a	2676 a	3402 a	3409 a	4315 a	4392 a
13 kg S ha <sup>-1</sup>	3463 a	4048 a	3144 ab	2836 a	2621 a	3255 a	3433 a	4403 a	4422 a
0 kg S ha <sup>-1</sup>	3429 a	4044 a	3086 b	2729 a	2571 a	2978 b	3347 a	3921 b	4432 a
DMS (0.05)	217	63	102	149	133	276	138	192	354
PxS	0.989	0.982	0.918	0.879	0.172	0.534	0.767	0.032	0.912
C.V. (%)	4.89	2.17	3.75	6.15	6.97	8.43	4.64	2.59	4.53

SJ, SB, LA, RC, EP, RH, LE: San Juan, San Beltrán, La Aguada, UNRC, El Pericón, Rhenania y La Escondida. PxS: Interacción fósforo por azufre. DMS (0.05): diferencia mínima significativa al 5% de probabilidad según test LSD. CV: coeficiente de variación.

Tabla 3. Análisis de sensibilidad del nivel crítico de P según el precio neto de soja y el precio del superfosfato triple.

§ Fósforo**	§ Soja*				
	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35
0.5	12	14	15	15	16
0.7	10	12	13	14	15
0.9	7	10	12	13	14
1.1	5	8	10	12	13
1.3	2	6	9	10	12

\* En U\$S kg<sup>-1</sup>, \*\* En U\$S kg<sup>-1</sup> de Súper Fosfato Triple

Tabla 4. Análisis de sensibilidad del nivel crítico de S de sulfatos, según el precio neto de soja y el precio del tiosulfato de amonio.

§ Azufre**	§ Soja*				
	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35
0.3	9	9	9	9	9
0.45	9	9	9	9	9
0.6	8	9	9	9	9
0.75	8	8	9	9	9
1	7	8	8	9	9

\* En U\$S kg<sup>-1</sup>, \*\* En U\$S L<sup>-1</sup> de tiosulfato de amonio



# PÉRDIDAS DE NITRÓGENO POR VOLATILIZACIÓN Y SU IMPLICANCIA EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ: EFECTOS DE FUENTE, DOSIS Y USO DE INHIBIDORES

Gustavo N. Ferraris<sup>1</sup>, Lucrecia A. Couretot<sup>1</sup> y Mirta Toribio<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino - <sup>2</sup>Investigación & Desarrollo Profertil SA  
nferraris@pergamino.inta.gov.ar

## Introducción

La pérdida de nitrógeno (N) por volatilización del gas amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) puede ser la principal causa de la baja eficiencia de algunos fertilizantes amoniacales. Dichas pérdidas son el resultado de numerosos procesos químicos, físicos y biológicos, cuya magnitud es afectada por factores de ambiente, suelo y manejo tales como temperatura, pH del suelo, capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica, cobertura y calidad de residuos en superficie, viento, tensión de vapor superficial y la dosis y localización del fertilizante.

En la región pampeana argentina, los cultivos de gramíneas son habitualmente fertilizados con fuentes nitrogenadas sólidas y líquidas. Existen datos locales sobre las pérdidas por volatilización que pueden sufrir dichas fuentes, pero se trata de casos puntuales por lo que la dimensión geográfica y temporal de estas evaluaciones requiere ser ampliada. En los últimos años, se han desarrollado inhibidores de la enzima ureasa, que cataliza la hidrólisis de la urea, para reducir las pérdidas por volatilización y mejorar la eficiencia de uso del N aplicado. La eficacia de estos inhibidores debe ser evaluada localmente.

El objetivo de este trabajo fue comparar las pérdidas gaseosas en forma de  $\text{NH}_3$  y el rendimiento de maíz entre tratamientos que recibieron distintas fuentes nitrogenadas, inhibidores de la hidrólisis de la urea y dosis de N. Hipotetizamos que las pérdidas de N

pueden ser minimizadas a través de una adecuada combinación de fuente, dosis y uso de inhibidores.

## Materiales y métodos

El ensayo fue conducido en la localidad de Pergamino, sobre un suelo serie Pergamino, Argiudol típico, Clase de uso 1 de muy buena productividad. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones y siete tratamientos, los cuales se presentan en la Tabla 1.

El ensayo se sembró el día 10 de octubre de 2008 en SD, con antecesor trigo/soja, utilizando el híbrido Syngenta NK 910. Todas las parcelas fueron fertilizadas a la siembra con fósforo (P) y azufre (S), a dosis de 20 kg P  $\text{ha}^{-1}$  y 18 kg S  $\text{ha}^{-1}$ . Las fuentes utilizadas fueron superfosfato triple de calcio (0-20-0) y sulfato de calcio (0-0-0-S18). Los fertilizantes nitrogenados fueron aplicados a la siembra, la Urea y la Urea+NBPT al voleo y el UAN chorreado en superficie. Urea + NBPT es un fertilizante en el cual la urea (46-0-0) fue tratada previo a su aplicación con NBPT (*n-butyl*) *tiamida* *tiofosfórica*), el cual actúa bloqueando la enzima ureasa por el término de diez días aproximadamente (Trenkel, 1997; Watson, 2000). Por su parte, el análisis de suelo del sitio experimental se presenta en la Tabla 2. Se destaca un nivel de materia orgánica y N relativamente bajo, normal de P y muy bajo de S.

Tabla 1. Detalle de fuentes y dosis de N para cada tratamiento evaluado en la localidad de Pergamino. Campaña 2008/09.

Nº	Tratamiento	Dosis de N (kg N $\text{ha}^{-1}$ )
T1	Testigo	
T2	Urea granulada (Urea)	60
T3	Urea granulada (Urea)	120
T4	Urea + NBPT	60
T5	Urea + NBPT	120
T6	Solución de Urea-Nitrato de amonio (UAN)	60
T7	Solución de Urea-Nitrato de amonio (UAN)	120



Figura 1. Medición de emisiones de N en forma de  $\text{NH}_3$ . INTA EEA Pergamino, noviembre de 2008.

Tabla 2. Análisis de suelo al momento de la siembra.

Prof. (cm)	MO (%)	pH	N total	N- $\text{NO}_3$ $\text{mg kg}^{-1}$	N- $\text{NO}_3$ kg/ha	P-Bray	S- $\text{SO}_4$	K	Mg	Ca
						$\text{mg kg}^{-1}$				
0-20	2.53	5.8	1.26	10.0	26.0	18.8	1.7	508.3	122	1717
20-40				8.3	21.7					
40-60				4.2	10.8					

Para determinar el N-NH<sub>3</sub> volatilizado, se utilizó el método de sistema de absorción semiabierto estático, adaptado del propuesto por Nommik (1973) y utilizado por Videla (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, en dos planchas de poliuretano de 1.5 cm de espesor embebidas en ácido sulfúrico (Fig. 1). A causa de la ausencia de precipitaciones que interrumpieran el proceso, las determinaciones de N-NH<sub>3</sub> volatilizado se realizaron durante nueve días consecutivos desde la aplicación del fertilizante.

En floración plena (estado R2), se evaluaron la intensidad de verdor mediante el medidor SPAD 502, la altura de plantas e inserción de la espiga principal y el número de hojas verdes y senescentes. La cosecha se realizó en forma manual, con trilla estacionaria de las muestras. Sobre una muestra de cosecha se midieron los componentes del rendimiento, número (NG) y peso (P1000) de los granos. Para el estudio de los resultados se realizaron análisis de la varianza y comparaciones de medias. Debido a variancias heterogéneas entre tratamientos, se modelaron las covariancias por tratamiento para el N total volatilizado en 9 días.

## Resultados y discusión

En la Tabla 3 se visualizan las condiciones ambientales en los días posteriores a la aplicación de los fertilizantes, momento en que se cuantificaron las pérdidas gaseosas de N en forma de NH<sub>3</sub>. Se caracterizaron por presentar elevadas temperaturas, alta insolación, viento predominante del sector norte y baja humedad relativa. Además, la cobertura del sitio era del 75% (método de la recta transecta), compuesta por residuos de trigo y soja que no superaron los 2 cm de espesor. Estos factores configuraron un ambiente favorable a la ocurrencia del proceso de volatilización, por lo que las emisiones medidas podrían considerarse muy cercanas al máximo probable para la localidad de estudio.

La emisión de NH<sub>3</sub> fue detectable desde el inicio del ensayo, pero sólo se evidenciaron diferencias entre tratamientos a partir del tercer día (Fig. 2). Nótese que aún el Testigo sin fertilización mostró pérdidas cuantificables de N, superiores a las observadas por otros investigadores (Sainz Rozas et al., 1997; Barbieri et al., 2005) y aún

en localidades ubicadas al norte de Pergamino como Oliveros (Salvagiotti, 2005) o Rafaela (Fontanetto et al., 2001). Esto muestra la singular severidad ambiental bajo la cual se realizaron las mediciones.

Hubo diferencias significativas entre tratamientos para la variable volatilización acumulada de N ( $P < 0.001$ ). Las pérdidas por volatilización no difirieron entre Urea sola y UAN (cualquier dosis) y superaron significativamente al Testigo (Fig. 2, Tabla 4). El inhibidor NBPT agregado a la Urea logró mitigar casi en forma completa las pérdidas, no difiriendo significativamente del Testigo. Para Urea, la reacción además fue favorecida por la concentración del sustrato. Es decir, al incrementar la dosis de fertilizante, las pérdidas porcentuales tendieron a aumentar. Esto sucede por la saturación de la capacidad buffer de amonio (NH<sub>4</sub>), limitada en este caso por el bajo contenido de materia orgánica del suelo (Tabla 2).

Las pérdidas máximas se alcanzaron para la dosis de N120 agregados como Urea, siendo de 19 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Fig. 2 y Tabla 4). Para calcular el N perdido desde el fertilizante se deben restar los 3.14 kg N ha<sup>-1</sup> capturados en el Testigo y dividir por los kg N aplicados con el fertilizante. Así calculadas, las pérdidas de N proveniente de los fertilizantes alcanzarían un rango de 0.4 a 13.2%, respectivamente (Tabla 4).

En Balcarce, Barbieri et al. (2005) registraron pérdidas máximas de 16 kg N ha<sup>-1</sup> (N120 - Urea al voleo). En Oliveros, Salvagiotti (2005) midió emisiones de hasta 16 kg N ha (N200 - Urea al voleo), mientras que en Rafaela, Fontanetto et al. (2006) cuantificaron la volatilización en trigo en 5.8 kg N ha<sup>-1</sup>. En esta localidad, las pérdidas en el mes de octubre sobre un experimento de maíz alcanzaron un rango entre 14% (N80 - urea al voleo, rastrojo bajo) y 21% (N80 - urea al voleo, rastrojo alto) y en noviembre un rango de 26% a 36% para igual dosis, fuente y cobertura, respectivamente. Durante la campaña 2008/09, las condiciones ambientales de Pergamino se asemejaron a las que predominan en localidades ubicadas más al norte, favoreciendo la sobreexpresión del proceso de volatilización. Es de esperar que en un año con registros medios de temperatura y humedad, las pérdidas de N alcancen valores intermedios a los determinados en la región pampeana sur (Balcarce) y norte (Oliveros o Rafaela).

Tabla 3. Registros ambientales diarios (17 al 26 de noviembre) de nueve días posteriores a la aplicación de los fertilizantes. Pergamino, campaña 2008/09.

	Días desde la aplicación de los fertilizantes									
	Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9
T Max (C°)	30.2	32.3	33.0	32.0	31.4	33.7	36.0	34.0	38.0	27.2
T Media (C°)	19.5	22.9	24.6	24.7	23.7	25.0	27.5	27.0	27.0	24.0
T mínima (C°)	8.8	13.5	16.2	17.4	16.0	16.2	19.0	20.0	16.0	20.7
Ppciones (mm)										2.5
Heliofanía (hs)	13.0	10.7	11.7	11.6	12.7	12.1	12.9	2.1	11.8	3.1
Vel viento (km/h)	8.7	11.2	13.1	12.9	14.5	17.0	11.6	5.2	7.7	6.3
Dirección viento	NNNE	EENE	NNENE	ENENE	EENE	NNENE	EENE	SSSE	ENENE	EENE
HR (%)	49.5	48.5	51.5	53.5	50.5	52.5	45.5	57.5	58.5	73.0

Los tratamientos se manifestaron en parámetros simples de cultivo (Tabla 5), que en alguna medida anticiparon lo que sucedería más tarde en los rendimientos. El Testigo mostró síntomas claros de deficiencias de N. Las diferencias entre dosis se manifestaron en variables como las lecturas SPAD o el número de hojas verdes en floración. Esta medida fue especialmente sensible, marcando diferencias entre dosis para aquellas fuentes que sufrieron pérdidas de menor magnitud, es decir, que lograron absorber el N aplicado.

Se determinaron diferencias en rendimiento entre tratamientos ( $P=0.003$ ;  $CV=6.7\%$ ). El Testigo se diferenció claramente del resto (Fig. 3). En general, la menor dosis (N60) permitió alcanzar el rendimiento máximo para todas las fuentes. La sequía que imperó durante la campaña limitó los rendimientos y probablemente la respuesta a N, impidiendo así que se manifestaran los efectos de la dosis superior y de la menor pérdida por volatilización con el agregado del inhibidor de la ureasa.

## Conclusiones

Se registraron pérdidas elevadas de N por volatilización bajo condiciones predisponentes en la localidad de Pergamino. Estas alcanzaron un rango de 3 a 19 kg N ha<sup>-1</sup> y podrían considerarse muy próximas al máximo esperable para la localidad.

La magnitud de las pérdidas de N por volatilización fue afectada por la fuente, la dosis y el uso de inhibidores. Las mayores pérdidas de N del fertilizante se observaron con la aplicación de urea, promediando 7.1 y 13.2% para las dosis de N60 y N120. La aplicación de UAN redujo las pérdidas pero éstas no fueron significativamente distintas a la aplicación de

Urea, promediando 4.3 y 3.3% (para N60 y N120, respectivamente). La presencia del inhibidor NBPT en la urea fue muy efectiva para reducir la producción de NH<sub>3</sub> a niveles similares al Testigo. Las pérdidas de las dosis N60 y N120 para este último tratamiento fueron de 0.4 y 1.3%, respectivamente.

El rendimiento reflejó efecto de tratamiento, siguió la tendencia de las pérdidas por volatilización y se asoció a variables simples que reflejaron el grado de nutrición nitrogenada, como el índice de verdor (SPAD), el número de hojas verdes y secas, la altura de plantas y de inserción de espigas. No obstante, el rendimiento máximo se alcanzó con la dosis de N60, lo cual se atribuye a una limitación en los rendimientos y a la baja demanda de N causada por el estrés hídrico.

Los resultados reflejan la factibilidad de alcanzar elevadas EUN y reducir las pérdidas con una variedad de estrategias de fertilización. La utilización de inhibidores de la volatilización brinda una herramienta de manejo adicional a las ya conocidas –incorporación mecánica, proximidad de lluvias– ampliando el espectro de fuentes nitrogenadas que pueden utilizarse en forma segura y confiable.

## Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por Profertil S.A. y el Proyecto Regional Agrícola, CERBAN, INTA.

## Bibliografía

Barbieri P.A., H.E. Echeverría y H. Sainz Rozas. 2005. Cuantificación de las pérdidas de nitrógeno por volatilización en el cultivo de maíz en función de la fuente, dosis y métodos de colocación del fertilizante. Convenio INTA

Tabla 4. Volatilización acumulada en 9 días para cada tratamiento y porcentaje del N volatilizado proveniente del fertilizante. Pergamino, campaña 2008/09.

Tratamiento	Volatilización acumulada de N-NH <sub>3</sub>		N-NH <sub>3</sub> volatilizado del fertilizante %
	Promedio	Error estándar	
	kg/ha		
Testigo	3.1	0.23	
Urea 60	7.4	1.96	7.1
Urea 120	19.0	8.17	13.2
Urea + NBPT	3.4	0.25	0.4
Urea + NBPT	4.7	1.04	1.3
UAN 60	5.7	0.75	4.3
UAN 120	7.1	0.56	3.3

Tabla 5. Índice de verdor (Unidades SPAD), número de hojas verdes y secas, altura de plantas y de inserción de espigas. Evaluación de fuentes, dosis y uso de inhibidores de la volatilización de nitrógeno en Maíz. Pergamino, campaña 2008/09.

Tratamiento	Lecturas SPAD	Número hojas senescidas R1	Número hojas verdes R1	Altura plantas (cm)	Altura inserción (cm)
Testigo	39.0	6	10	205	110
Urea 60	40.8	5	12	233	110
Urea 120	43.5	4	13	230	105
Urea + NBPT	39.7	5	12	238	125
Urea + NBPT	42.2	3	14	230	120
UAN 60	41.1	4	13	225	105
UAN 120	44.4	2	15	230	120

Balcarce - Profertil, 2004/05.

**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.

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

**Sainz Rozas H., H.E. Echeverría, G.A. Studdert y F.H. Andrade.** 1997. Volatilización de amoníaco desde urea aplicada al cultivo de maíz bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 15: 12-16

**Trenkel M.E.** 1997. Improving Fertilizer Use Efficiency. Con-

trolled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture. 151 p

**Videla C.C.** 1994. La volatilización de amoníaco: una vía de pérdida de nitrógeno en sistemas agropecuarios. EEA Balcarce INTA Bol. Tec. 131, 16 p.

**Salvagiotti F.** 2005. Cuantificación de las pérdidas de nitrógeno por volatilización y su efecto en el rendimiento del cultivo de maíz. EEA INTA Oliveros. Convenio INTA Oliveros - Profertil, 2004/05

**Watson C.J.** 2000. Urease activity and inhibition. Principles and practice. The International Fertiliser Society. Proceeding N° 454. 39 p. ■

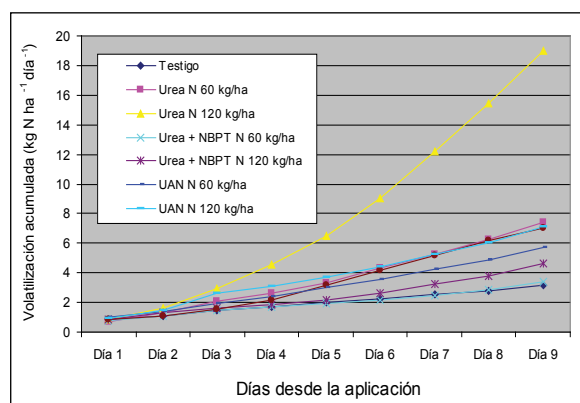


Figura 2. Emisión acumulada de nitrógeno (kg N ha<sup>-1</sup>) en forma de NH<sub>3</sub> a lo largo del experimento. Pergamino, campaña 2008/09.

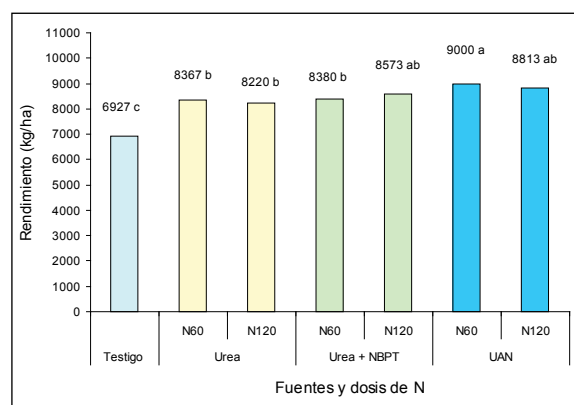


Figura 3. Rendimiento en grano (kg ha<sup>-1</sup>) de diferentes dosis, fuentes y tratamientos con inhibidores de la volatilización de N en maíz. Letras distintas en las columnas representan diferencias significativas entre tratamientos (DMS  $\alpha=0.1$ ).

## CARACTERIZACIÓN DE LA DINÁMICA DE INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE COSECHA AL SUELO EN UN SISTEMA AGRÍCOLA EN SIEMBRA DIRECTA EN EL CENTRO-OESTE DE BUENOS AIRES

Pablo F. Richmond y Sergio N. Rillo  
AER INTA 9 de Julio, Buenos Aires, Argentina.  
richmond.pablo@gmail.com

### Introducción

Los efectos de los rastrojos sobre el suelo en sistemas de siembra directa (SD) son conocidos: atenuación de las variaciones de temperatura, protección de la superficie contra el impacto de la gota de lluvia y el viento, una mayor oportunidad de infiltración para el agua, disminución de la evaporación y aumento de la disponibilidad de humedad para los cultivos. No se dispone, en cambio, de suficiente información sobre la dinámica de descomposición de los rastrojos en la zona centro-oeste de Buenos Aires, que permita cuantificar la tasa de incorporación del carbono (C) aportado al suelo. El proceso de descomposición de los residuos orgánicos depende del ambiente químico generado por el residuo y de su interacción con los microorganismos del suelo. Los factores del suelo que controlan el proceso son: humedad, temperatura, pH, aireación y disponibilidad de nutrientes (Schjonning et al., 1999). Los más determinantes son el contenido de humedad, los eventos de secado y rehumedecimiento (Kruse et al., 2004) y la temperatura del suelo (Rodrigo

et al., 1997; Kätterer, 1998). Entre los factores del residuo encontramos: composición química, relación carbono/nitrógeno (C:N), contenido de lignina (Whitmore, 1996) y tamaño de las partícula del residuo, así como la forma de contacto con el suelo y la microflora natural (Parr y Papendick, 1978). Los factores que producen el mayor efecto sobre el crecimiento y actividad microbiana tendrán el mayor potencial para alterar la tasa de descomposición (Creus et al., 1998). Parte del C producto de la descomposición del rastrojo es liberado como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otra parte es asimilada por la biomasa microbiana involucrada en el proceso de descomposición (Alexander, 1997; Gilmour et al. 2003). Para que ocurra la asimilación del C, el N también debe ser asimilado en cantidades determinadas por la relación C:N de la biomasa microbiana. Como regla general, las células microbianas contienen 5 a 15 partes de carbono por una parte de N, pero 10:1 es un promedio razonable para la flora predominantemente aeróbica (Alexander, 1997).

Si la cantidad de N presente en la descomposición de residuos orgánicos es mayor que la requerida por los microorganismos, existirá una mineralización neta con liberación de N inorgánico. Si la cantidad de N en el residuo es igual a la cantidad requerida, no habrá mineralización neta. Si, por el contrario, la cantidad de N presente en el residuo es menor que el requerido por la biomasa microbiana, será inmovilizado N inorgánico adicional, el que se obtendrá a partir del suelo para completar el proceso de descomposición (Cabrera, 2007).

La temperatura es uno de los factores ambientales que determina la rapidez con la que los materiales naturales son metabolizados. Un cambio en la temperatura alterará la composición de las especies de la flora activa y al mismo tiempo tendrá una influencia directa sobre cada organismo de la comunidad. El metabolismo microbiano y, por ende, la mineralización del carbono es menor a bajas temperaturas, y el calor está asociado con una mayor liberación de  $\text{CO}_2$ . A  $5^\circ\text{C}$  ocurre una apreciable degradación de materia orgánica (MO), mientras que las máximas tasas de descomposición se llevan a cabo a temperaturas que oscilan entre  $30$  y  $40^\circ\text{C}$  (Alexander, 1997).

La velocidad de descomposición también está regida por el tamaño de las partículas orgánicas sujetas a ataque. Como regla general, los materiales de partículas pequeñas son degradados más fácilmente que los de partículas más grandes (Alexander, 1997). Las ligninas son altamente resistentes y consecuentemente empiezan a ser de manera relativa más abundantes en la MO residual en descomposición (Alexander, 1997).

Los objetivos de este trabajo son 1) conocer la dinámica de provisión de C al suelo a través de los rastrojos en una rotación típica en siembra directa, en las condiciones locales del centro - oeste de Buenos Aires y 2) evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada en un cultivo de maíz sobre la tasa de degradación de su rastrojo.

## Materiales y Métodos

Las evaluaciones se desarrollaron a lo largo de tres años, entre 2005 y 2007, en la Escuela MC y ML Inchausti, cercana a la localidad de Valdés, partido de 25 de Mayo. Las precipitaciones anuales fueron de 919, 1095 y 860 mm para los años 2005, 2006 y 2007. Para cumplir los objetivos establecidos, se realizaron dos experiencias paralelas: 1. Evaluación de la tasa de degradación del rastrojo presente en superficie en lotes de producción en SD, a lo largo de tres campañas y 2. Evaluación de la tasa de degradación del rastrojo de maíz presente en superficie proveniente de un cultivo al que se aplicaron diferentes dosis de N.

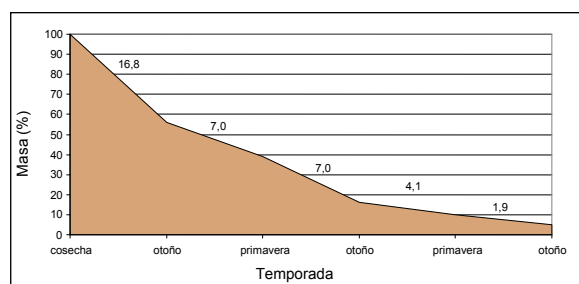


Figura 1. Evolución relativa de la masa de residuos del cultivo de trigo (%) y tasa media diaria de degradación ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ )

En el primer ensayo, las mediciones de masa de rastrojo (sin pastoreo) se realizaron en tres lotes, en un sistema de SD estabilizada a lo largo de 6 años, con una rotación maíz - soja - trigo/soja. Las evaluaciones fueron efectuadas en dos épocas del año; en otoño, luego de la cosecha gruesa y en primavera, con el fin de evaluar la degradación durante la mitad más fría y la más cálida del año. En cada oportunidad se levantó todo el rastrojo y broza presente en 4 aros de  $0.25 \text{ m}^2$  correspondientes a la cola visible de la última cosecha y en 4 aros del mismo tamaño correspondientes al área que habría ocupado el resto de la plataforma de la cosechadora, totalizando  $2 \text{ m}^2$ . Para determinar la masa total, se consideró que lo denominado cola de máquina representó el 40% del ancho de trabajo y el resto de plataforma el 60%. Luego de secado, el material cosechado se separó en 5 fracciones: maíz nuevo, maíz antiguo, trigo, soja y broza (partículas no identificables).

En el segundo ensayo se utilizó la misma metodología de recolección del material. Se evaluó sólo el rastrojo de maíz remanente en tres momentos; al otoño (luego de la cosecha del maíz), en primavera y en el segundo otoño, a fin de determinar la evolución en un año completo.

Los tratamientos evaluados incluyeron un testigo sin N (T1),  $46 \text{ kg ha}^{-1}$  aplicados a la siembra (T2),  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  disponibles a la siembra (T3),  $220 \text{ kg ha}^{-1}$  disponibles a la siembra (T4),  $46 \text{ kg ha}^{-1}$  aplicado en  $V_5$  (T5),  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  disponibles en  $V_5$  (T6) y  $220 \text{ kg ha}^{-1}$  disponibles en  $V_5$  (T7).

Los tratamientos de  $150$  y  $220 \text{ kg ha}^{-1}$  corresponden a una aplicación de  $150$  o  $220 \text{ kg ha}^{-1}$  - x, siendo x la cantidad de  $\text{N-NO}_3^-$  de 0-60cm de profundidad. La dosis de  $46 \text{ kg ha}^{-1}$  corresponde a una dosis modal utilizada por el productor, equivalente a  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de urea. La fuente de N utilizada fue nitrato de amonio calcáreo. El diseño del ensayo fue en bloques completos al azar con tres repeticiones. Las unidades experimentales correspondieron a siete surcos separados a  $0.70 \text{ m}$  por un largo de  $7 \text{ m}$ .

Se analizó el contenido inicial del N del material correspondiente a cada tratamiento, a fin de determinar si los diferentes tratamientos tuvieron efecto sobre la concentración de N presente en el rastrojo.

## Resultados y discusión

### Ensayo 1. Evaluación de la tasa de degradación de rastrojos en una rotación maíz - soja - trigo/soja.

#### Degradación del rastrojo de trigo

La masa inicial promedio del rastrojo de trigo fue de  $6298 \text{ kg ha}^{-1}$ . La Fig. 1 muestra la evolución relativa de

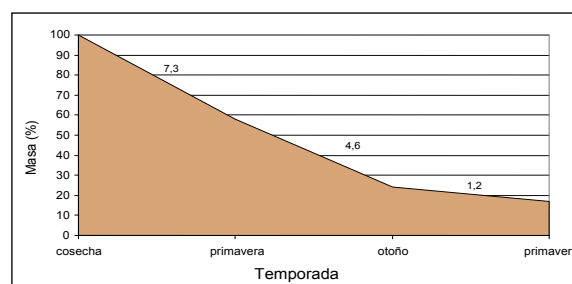


Figura 2. Evolución relativa de la masa de residuos de soja de segunda (%) y tasa media diaria de degradación ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ).



la masa de rastrojo en el tiempo. Los valores sobre la pendiente marcan la tasa diaria de degradación media para el período, en  $\text{kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ .

Desde la cosecha al inicio del primer otoño, el rastrojo se degradó en un 44%; al término del primer invierno se había degradado el 61% y a la finalización del segundo verano se había degradado el 84% (Fig. 1). Al término del tercer verano, la cantidad de rastrojo remanente no era significativa, transformándose en broza no identificable en sus componentes a simple vista. Esta broza no diferenciable correspondería a la situación previa a la incorporación al sustrato superior del suelo, representando una porción significativa del material depositado sobre la superficie y en íntimo contacto con la misma, por lo que tendría mayor oportunidad de descomposición. Este material constituyó en algunos casos hasta el 35% del total del material presente.

El rastrojo de trigo aportó al suelo aproximadamente 1020  $\text{kg ha}^{-1}$  de C humificado a lo largo de todo su período de descomposición, asumiendo un contenido de C del material del 45% y un índice de humificación de 36%.

### Degradación del rastrojo de soja

Luego de la cosecha de soja de primera, se midió una masa promedio de 4137  $\text{kg ha}^{-1}$ . Para soja de segunda, se midieron 2799  $\text{kg ha}^{-1}$ . Los residuos de soja de primera se degradaron un 52% desde la cosecha del cultivo hasta la primavera siguiente, con una tasa media de degradación de 13.3  $\text{kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ .

La Fig. 2 muestra la evolución de la degradación y tasa de degradación media diaria de soja de segunda. En el caso de soja de primera, debido a la fase de la rotación en que se midieron los lotes, sólo pudo evaluarse por un período corto. No obstante, si se compara con el gráfico de soja de segunda, se observa que en ambos casos en el primer invierno se degradó aproximadamente el 50% del residuo, por lo que puede inferirse que la evolución posterior puede ser similar.

Comparado con el rastrojo de trigo y maíz, que tuvieron una degradación cercana al 20% durante el primer invern-

no (Fig. 1 y 3), el rastrojo de soja se degradó en ese mismo período en una proporción mucho mayor.

El rastrojo de soja de primera aportó 707  $\text{kg ha}^{-1}$  de C humificado a lo largo de todo su período de descomposición. La soja de segunda aportó 479  $\text{kg ha}^{-1}$ , considerando en ambos casos un contenido de C del material del 45% y un factor de humificación del 38%.

### Degradación del rastrojo de maíz

La masa inicial promedio del rastrojo de maíz fue de 12625  $\text{kg ha}^{-1}$ , aportando 2045  $\text{kg ha}^{-1}$  de carbono humificado a lo largo del período total de degradación. La evolución de la masa en el tiempo se aprecia en la Fig. 3; los números sobre la pendiente indican la tasa media de descomposición.

### Balance de C en la rotación

En base a las evaluaciones anteriores, la Tabla 1 ofrece un resumen del C humificado total incorporado al suelo para cada uno de los cultivos participantes de la rotación y el aporte relativo de cada uno, tomando al maíz como base 100.

En base a las tasas de degradación obtenidas anteriormente, se hace a continuación una estimación de la degradación del total del rastrojo de los tres cultivos presentes en el suelo a lo largo de los tres años de rotación, con la finalidad de obtener el aporte total de C humificado y ensayar un balance de C de la rotación. Se consideró el inicio al año en que comienza a degradarse el rastrojo de maíz (año 1).

La Tabla 2 muestra el tipo y antigüedad del rastrojo presente en el suelo en cada año de la rotación. Así, por ejemplo, en el año 1 está presente el rastrojo de maíz en su primer año de degradación, sumado a uno antiguo en su cuarto año; un rastrojo de trigo y soja de segunda en su segundo año y un rastrojo de soja en su tercer año. En las evaluaciones realizadas, el maíz fue el único residuo que llegó en cantidad significativa e identificable hasta la repetición del mismo cultivo.

Tabla 1. Aporte total y relativo del C humificado al suelo de cada cultivo.

Cultivo	Aporte C humificado ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Aporte relativo C humificado
Maíz	2045	100
Trigo	1020	50
Soja 1º	707	35
Soja 2º	479	23
Trigo/Soja 2º	1499	73

Tabla 2. Años de antigüedad de cada tipo de residuo presente en cada año de rotación.

Año de Rotación	Maíz	Trigo	Soja 2º	Soja 1º
1	4 + 1	2	2	3
2	2	3	3	1
3	3	1	1	2

Tabla 3: Aporte de cada tipo de rastrojo al total de la degradación para cada año de la rotación.

Año de rotación	Maíz ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ )	Trigo ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ )	Soja 2º ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ )	Soja 1º ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ )	Degradación total ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ )	Degradación anual ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ )
1	25.2	3.6	1.2	0	30.0	10950
2	6.0	1.2	0	12.0	19.2	7008
3	2.4	14.4	7.2	1.2	25.2	9198

En base al trabajo anterior, en la Tabla 3 se presenta la tasa de degradación de cada tipo de residuo en cada año como un promedio entre la ocurrida en el período más frío y el más caluroso. A ese valor se le sumó un 20%, tomado usualmente por la bibliografía como aporte de MO a partir del sistema radicular en descomposición.

Teniendo en cuenta la diferente masa total y la relación C:N de los diferentes materiales que componen el *mulch* presente, sumado al peso relativo de cada uno en cada año, se aprecia que la demanda de N de los microorganismos que intervienen en la descomposición variará cada año, pudiendo provocar períodos de inmovilización o liberación neta de N.

Diversos autores citan para el tejido de trigo y maíz una relación C:N de entre 60:1 y 100:1 (Cabrera, 2007). Richmond (2007), en una experiencia realizada en Fauzón, partido de 9 de Julio, obtuvo un valor de 81:1 para el residuo de maíz. En el caso de soja, Cordone (1991) establece un rango entre 40 y 50. El rango de valores de relación C:N reportado por la bibliografía que determina mineralización o inmovilización de N varía según autores entre 25 y 35:1 (Smith, 1982; Bartholomew, 1965; Harris, 1988; respectivamente, citados por Cordone, 1991). Whitmore (1996) y Seneviratne (2000) citan un rango de 20-40, mientras que Morón (2002) coincide en un rango de 20-30. La existencia de un rango de valores para el punto de equilibrio está probablemente relacionado con la variación de la relación C:N de la masa microbiana que actúa en la descomposición de los residuos, como así también con la existencia de componentes orgánicos con diferentes susceptibilidades a la mineralización (Cabrera, 2007).

Considerando un contenido de C de los rastrojos de 45% y aplicando los factores de humificación correspondientes a cada cultivo (maíz y trigo: 0.36, soja: 0.38), se determinó el aporte de C humificado al suelo (Tabla 4).

De acuerdo a estos datos, la incorporación de C humificado al suelo en el sistema a lo largo de un ciclo de rotación de tres años fue de 4465 kg ha<sup>-1</sup>, con un promedio anual de 1488 kg ha<sup>-1</sup>. Este aporte de C puede ser comparado con las pérdidas del sistema para hacer un balance.

El contenido de MO promedio de los lotes evaluados es de 2.5% (0-20 cm). Considerando una densidad aparente de 1.20 tn m<sup>3</sup>, una hectárea hasta 20 cm tendrá 2400 toneladas de suelo, con un contenido de 60 toneladas de MO. Considerando que esa MO tiene un porcentaje de C del 58%, el contenido de C sería de 34800 kg ha<sup>-1</sup>. Diversos autores consideran una mineralización de entre el 3 y el 5% anual en SD. Tomando un 4%, se mineralizarían 1392 kg ha<sup>-1</sup> de C. Comparando este valor con los 1488 kg ha<sup>-1</sup> de C aportados, el sistema tendría un leve superávit de 96 kg ha<sup>-1</sup>. De este modo, el aporte anual sería de un 0.28% del pool total de C del suelo hasta 20 cm de profundidad. Así, si tomamos un período de 10 años manejando esta rotación, el aumento del C total del suelo sería de 2.8%, llegando a 35774 kg ha<sup>-1</sup>. Esta masa equivale a un aumento del contenido total de MO del suelo de 0.07% en ese período de 10 años.

Tabla 4. Aporte de carbono humificado en cada año de la rotación a partir de cada tipo de residuo.

Año de Rotación	Maíz (kg ha <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	Trigo (kg ha <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	Soja 2 <sup>o</sup> (kg ha <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	Soja (kg ha <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	C aportado (kg ha <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	C aportado anual (kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
1	4.08	0.58	0.21	0	4.87	1778
2	0.97	0.19	0	2.05	3.21	1172
3	0.38	2.33	1.23	0.21	4.15	1515

## Ensayo 2: Degradación del rastrojo de un cultivo de maíz sometido a diferentes niveles de fertilización nitrogenada

Los valores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el suelo (0-60cm) a la siembra promediaron 7 kg N ha<sup>-1</sup>. La Tabla 5 muestra el porcentaje de proteína en el grano de maíz cosechado para cada tratamiento de fertilización nitrogenada y la concentración de N en los residuos vegetales al inicio del ensayo, recién cosechado el maíz.

Al igual que sucedió con el porcentaje de proteína en grano (Tabla 5), el contenido de N en los residuos de cosecha fue mayor al aumentar la dosis de fertilización. Igualmente, las aplicaciones a la siembra (T2, T3 y T4) tuvieron una menor concentración, con una media de 0.41%, en comparación con las aplicaciones en V5 (T5, T6 y T7), que mostraron una media de 0.51%, o sea una diferencia del 25%. Esto podría estar explicado por una mayor absorción por parte del cultivo en la aplicación en V5, inicio del período de mayor demanda del cultivo, logrando una mayor eficiencia agronómica. La Tabla 6 muestra la degradación del rastrojo producida en cada tratamiento, entre el mes de mayo de 2006 y mayo de 2007.

Se observó una tendencia a una mayor descomposición de los residuos de cosecha cuanto mayor fue el N disponible para el cultivo y más tardía la aplicación del fertilizante. Esta tendencia se observa en la Fig. 5, en donde se promediaron los tratamientos por dosis de N disponible. La gran magnitud de pérdida de masa se debe principalmente a la tasa de degradación del residuo de maíz durante el primer año.

## Conclusiones

- La tasa de descomposición del rastrojo de los tres cultivos fue más pronunciada en los primeros meses y especialmente en la época del año más cálida. El rastrojo de maíz fue el más voluminoso y persistente; se observaron restos de este cultivo en el suelo durante 4 años. El rastrojo de soja tuvo la descomposición más rápida.
- La rotación evaluada presentó un balance positivo de C. No obstante, ese superávit sólo pudo verse reflejado en el contenido total de MO del suelo a través de largos períodos de tiempo. Se destaca la importancia de la inclusión

Tabla 5. Porcentaje de proteína en grano y concentración de N en el residuo de maíz para cada tratamiento.

Tratamiento	Proteína en grano (%)	Concentración de N (%)
1	6.6	0.33
2	7.4	0.32
3	8.4	0.48
4	9.0	0.42
5	7.3	0.39
6	9.4	0.47
7	10.3	0.67

de gramíneas (especialmente maíz) en la rotación, como aporte de C al suelo.

- La concentración de N de los residuos de cosecha de maíz estuvo relacionada positivamente con la dosis de N aplicada al cultivo. A mayores dosis de N, mayor fue la velocidad de descomposición del rastrojo de maíz.

**Agradecimientos**

Los autores agradecen a directivos y personal de campo de la Escuela Agrotécnica MC y ML Inchausti la colaboración prestada para la realización de esta experiencia.

**Bibliografía**

**Alexander M.** 1977. Introduction to soil microbiology. 2º Edition. John Wiley & Sons. New York. N.Y.  
**Bartholomew W.** 1965. Mineralization and Immobilization of Nitrogen in the Decomposition of Plant and Animal residues. *En Soil Nitrogen*. W. V. Bartholomew y F.E. Clark (ed.). Agronomy Monograph N° 10. American Society of Agronomy. p. 285-306.  
**Cabrera M.** 2007. Mineralización y nitrificación: procesos claves en el ciclo del nitrógeno. Simposio Fertilidad 2007 IPNI Cono sur/Fertilizar A C. www.inpofos.org.  
**Cordone G., J. Ostojic, M. Ferrari y N. Gonzalez.** 1991. Los residuos de la cosecha de soja, maíz y girasol: cantidad, calidad y

distribución en la superficie del suelo. Campaña 1990-91. Carpeta de producción Vegetal. Tomo X. Serie Generalidades. Informe 77 EEA INTA Pergamino.

**Creus C., G. Studdert, H. Echeverría y S. Sanchez.** 1998. Descomposición de residuos de cosecha de maíz y dinámica del nitrógeno en el suelo. *Revista Ciencia del Suelo* 16:51-57.  
**Gilmour J., C. Cogger, L. Jacobs, G. Evanylo y D. Sullivan.** 2003. Decomposition and plant – available nitrogen in biosolids: laboratory studies, field studies and computer simulation. *J. Environ Quality* 32:1498-1507.  
**Harris P.** 1988. Microbial Transformations of Nitrogen. En Russell´s Soil Conditions and Plant Growth. A. Wild (ed.). Longman, Harlow. 9º Edición. p. 608-651.  
**Kätterer T., M. Reichstein, O. Andren y A. Lomander.** 1998. Temperature dependence of organic matter decomposition: a critical review using literature data analyzed with different models. *Biol. Fertil. Soils* 27:258-262.  
**Kruse J., D. Kissel y M. Cabrera.** 2004. Effects of drying and rewetting on C and N mineralization in soils and incorporated residues. *Nutr Cycl. Agroecosystems*. 69:247-256.  
**Morón A.** 2002. Dinámica de los rastrojos en el suelo. La contribución del cultivo de Maíz. Guía Dekalb del cultivo de maíz. p.84-96.  
**Parr J. y R. Papendick.** 1978. Factors affecting the decomposition of crop residues by microorganisms. *Crop residues management systems*. Am. Soc. Agron. Special Publication N° 31. Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Am., Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA. p.101-129.  
**Richmond P.** 2007. Interacción de los residuos de cosecha de maíz y el agregado de nitrógeno sobre el cultivo de trigo en SD.. Tesis correspondiente a la especialización en SD. Escuela para graduados Alberto Soriano. FAUBA.  
**Rodrigo A., S. Recous, C. Neel y B. May.** 1997. Modelling temperature and moisture effects on C, N transformation in soils: Comparison of nine models. *Ecol Model* 102: 325-339.  
**Schjonning P., J. Thomsen, P. Moberg, H. de Jorge, K. Kreisenen y B. Christensen.** 1999. Turnover of organic matter in differently textured soils: I Physical characteristics of structurally disturbed and intact soils. *Geoderma* 89: 177-198.  
**Seneviratne G.** 2000. Litter quality and nitrogen release in tropical agriculture: A synthesis. *Biol Fertil. Soils* 31:60-64.  
**Smith O.** 1982. Soil Microbiology: A model of decomposition and nutrient cycling. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. p. 199-240.  
**Whitmore A.** 1996. Modeling the release and loss of nitrogen after vegetable crops. *Netherland Journal Agric. Science*. 44:73-86. ■

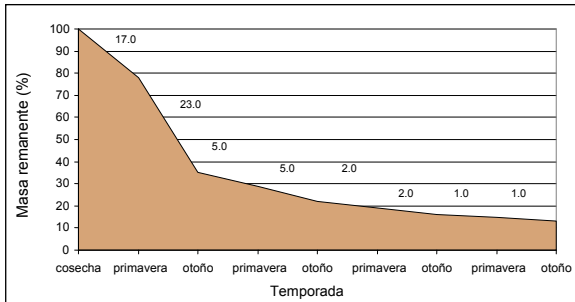


Figura 3. Evolución relativa de la masa de residuos de maíz (%) y tasa diaria de degradación (kg ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>).

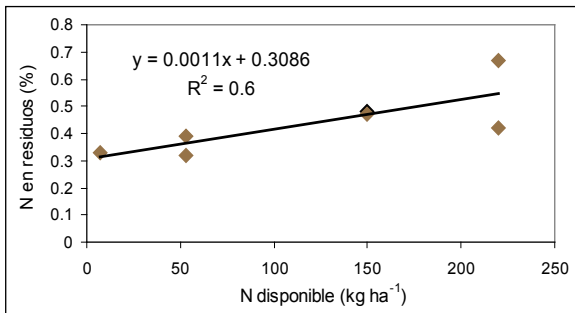


Figura 4. Aumento de la concentración de N en residuos en función del nivel de N disponible a la siembra del maíz. Los N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a la siembra (0-60cm) promediaron 7 kg N ha<sup>-1</sup>.

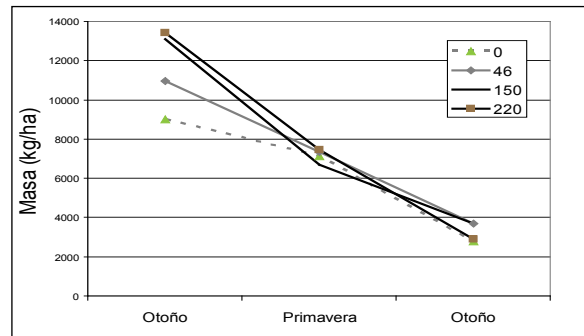


Figura 5. Evolución de la masa de rastrojo en función de la dosis de N disponible según el tratamiento. Los N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a la siembra (0-60 cm) promediaron 7 kg N ha<sup>-1</sup>.

Tabla 6. Degradación de la masa de rastrojo para cada tratamiento desde el otoño 2006 hasta el otoño 2007.

Tratamiento	Masa otoño 2006 (kg ha <sup>-1</sup> )	Masa primavera 2006 (kg ha <sup>-1</sup> )	Masa otoño 2007 (kg ha <sup>-1</sup> )	Diferencia Inicial-final (kg ha <sup>-1</sup> )	Degradación (%)	Degradación media (kg ha <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )
1	8993	7128	2788	6205	67	16.7
2	11088	7308	4300	6788	61	18.2
3	12997	6732	4300	8697	67	23.4
4	13825	7728	2868	10957	79	29.5
5	10852	7412	3100	7752	71	20.8
6	13197	6672	3072	10125	77	27.2
7	13003	7156	2920	10083	78	27.1

## PUBLICACIONES DE IPNI

Las siguientes publicaciones se encuentran disponibles con un costo nominal



Título de la Publicación (Vea el catalogo completo de publicaciones de IPNI en <a href="http://www.ipni.net/lasc">www.ipni.net/lasc</a> )	Costo US\$	Costo \$ arg.
<b>NUEVO. Manual de manejo del cultivo de soja.</b> Aborda temáticas de fenología, manejo, nutrición y fertilidad, malezas, enfermedades y plagas del cultivo.	16	60
<b>NUEVO. Simposio Fertilidad 2009.</b> Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Mayo de 2009.	16	60
<b>Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos.</b> Este libro, editado por INTA (Argentina) con la colaboración de IPNI, contiene los principios y conceptos fundamentales de la fertilidad de suelos y del manejo de fertilización para numerosos cultivos.	14	50
<b>Simposio Fertilidad 2007.</b> Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Mayo de 2007.	8	30
<b>La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe:</b> Resultados y conclusiones de los primeros seis años 2000-2005. Resumen y discusión de los principales resultados obtenidos en la Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe (Argentina).	3	10
<b>Nutrición y fertilización potásica en frutales y vides.</b> Publicación de INIA La Platina (Chile) que discute los principales aspectos del manejo de potasio en frutales y vides, con énfasis en la situación del centro de Chile.	16	60
<b>Fertilización de forrajes en la región pampeana.</b> Una revisión de los avances en el manejo de la fertilización de pasturas, pastizales y verdes en la región pampeana argentina. (Nueva edición en CD).	3	12

Vea el catalogo completo de publicaciones de IPNI en [www.ipni.net/lasc](http://www.ipni.net/lasc)

### Formas de pago de publicaciones

#### Argentina

- Giro Postal o Telegráfico, a través de Correo Argentino o Envío de dinero a través de Western Union.

Los datos para realizar su envío son los siguientes:

DESTINATARIO: Sra. Laura Néida Pisauri - DNI: 17.278.707

DIRECCION: Av. Santa Fe 910 (B1641ABO) Acassuso — Buenos Aires — Argentina

AGENCIA DE CORREOS DE DESTINO: Sucursal Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

- Depósito Bancario en Banco Galicia, Cta.Cte. N° 3856/4 053/5 Sucursal Olivos a nombre de INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE.

- Transferencia Bancaria a INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE, Banco Galicia, Suc. Olivos, Cta.Cte. N° 3856/4 053/5, CBU 007005352000003856451 CUIT 30-70175611-4.

Solicitamos nos haga saber por teléfono, fax o e-mail, la opción elegida y nos envíe los datos para acreditar su pago (No.de giro y fecha, o datos de depósito o transferencia bancaria).

#### Otros Países

Envío de dinero a través de Western Union, según instrucciones para el envío indicadas más arriba.

#### Para adquirir las publicaciones de IPNI Cono Sur:

- Además del costo de la/s publicaciones, deberá tener en cuenta los gastos de envío, que son variables de acuerdo al peso en gramos (g): hasta 100 g (equivale a 1 publicación) \$ 5.-; entre 100 - 500 g (equivalen a 3/5 publicaciones) \$ 15.00; entre 500 - 1000 g \$ 30; y de 1000-2000 g \$50.00.
- Deberá enviarnos el comprobante de pago a nuestra oficina de IPNI Cono Sur por Fax: 011-4798-9939 o por mail a [Lpisauri@ipni.net](mailto:Lpisauri@ipni.net)
- Indicar si solicita Factura A ó B, a nombre de quien extenderla, dirección completa y CUIT.

Ante cualquier consulta enviar mail a: [Lpisauri@ipni.net](mailto:Lpisauri@ipni.net) o llame al (54 - 011) 4798 9939

## CONGRESOS, CURSOS Y SIMPOSIOS

Esta sección presenta eventos futuros en el ámbito regional e internacional que pueden ser de interés de los lectores



#### Simposio Nacional de Agricultura

Lugar y fecha: Paysandú, Uruguay. 17-18 Septiembre 2009

Información: Estación Experimental "Dr.Mario A.Cassonini" (FAGRO) - [www.eemac.edu.uy](http://www.eemac.edu.uy)

#### XIII Congreso Forestal Mundial 2009

Lugar y fecha: Buenos Aires, Argentina. 18-25 Octubre 2009. - Información: [www.cfm2009.org](http://www.cfm2009.org)

#### Primer Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelos

Lugar y fecha: Hohenau, Hohenau — Itapúa — Salón Auditorio Coop. Colonias Unidas, Ruta 6ta km 38,5

- Paraguay. 29-30 Octubre 2009 - Información: Cooperativa Colonias Unidas - [www.simposiosuelo.com](http://www.simposiosuelo.com)

#### XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo

Lugar y fecha: San José, Costa Rica. 16-20 Noviembre 2009. - Información: [www.clacs2009.com](http://www.clacs2009.com)

#### VI Congreso Internacional de Ingeniería Agrícola - CIACH 2010

Lugar y fecha: Chillan, Chile. 11-13 Enero 2010. - Información: [www.udec.cl/ciach](http://www.udec.cl/ciach) - [ciach@udec.cl](mailto:ciach@udec.cl)

#### XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

"El Suelo, Pilar de la Agroindustria en la Pampa Argentina"

Lugar y fecha: Rosario, Santa Fe. 31 Mayo - 4 Junio de 2010. - Información: [www.suelos.org.ar](http://www.suelos.org.ar)

#### XIX Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo

Lugar y fecha: Brisbane, Australia. 1-6 Agosto 2010.

Información: [www.19wcss.org.au](http://www.19wcss.org.au) - Información: [www.clacs2009.com](http://www.clacs2009.com)

## Suscripción



[www.ipni.net/lasc](http://www.ipni.net/lasc)

Si Ud. desea recibir Informaciones Agronómicas del Cono Sur, por favor complete el cupón y envíelo por correo, fax o correo electrónico a:

IPNI Cono Sur, Av. Santa Fe 910, (B1641ABO) Acassuso, Argentina

Tel./Fax: (54) 011-4798-9939 Correo Electrónico: [Lpisauri@ipni.net](mailto:Lpisauri@ipni.net)

Nombre y Apellido: .....

Institución o Empresa: .....

Principal Actividad: .....

Calle: ..... Nro.: ..... C.Postal: .....

Localidad: ..... Provincia: .....

E-mail: ..... Teléfono: .....

¡MUCHAS GRACIAS!

## NUEVA PUBLICACIÓN DE IPNI CONO SUR

# MANUAL DE MANEJO DEL CULTIVO DE SOJA



El manual de manejo del cultivo de soja aborda las temáticas de fenología, manejo, nutrición y fertilidad, malezas, enfermedades y plagas del cultivo. Profesionales de reconocida trayectoria tales como Juan C. Papa (EEA INTA Oliveros, Santa Fe, Argentina), Marcelo Carmona y colaboradores (Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires), Daniel Igarzabal y colaboradores (Liderlab, Córdoba, Argentina), Hector Baigorri (Planeta Soja), y Fernando O. Garcia e Ignacio A. Ciampitti (IPNI Cono Sur), presentan y discuten los principales aspectos de estas temáticas. El manual consta de 150 páginas en seis capítulos y un anexo de 42 páginas con información útil para el manejo del cultivo, plagas, malezas, enfermedades, nutrición de cultivos y fertilidad de suelos en general.



El costo del manual es de \$60.- (sesenta pesos) más gastos de envío de \$25.- (dieciséis pesos) - Total del pago \$85.- (setenta y seis pesos)

Para adquirirlo, comuníquese con la Sra. Laura Pisauri a [Lpisauri@ipni.net](mailto:Lpisauri@ipni.net) o al (011) 4798-9939

Ver Formas de Pago en pagina 27

## I SIMPOSIO NACIONAL DE AGRICULTURA DE SECANO

17 y 18 de setiembre de 2009 – Paysandú – URUGUAY

**Objetivo:** Generar un espacio que permita acceder a la nueva información científica generada en el país y en la región, en un ámbito propicio para su discusión y profundización.

**Lugar:** Centro de Convenciones EGEOS. Bulevar Artigas entre 31 y 32. Paysandú. Uruguay.

**Organiza:** UdelaR- Facultad de Agronomía - Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni"-GTI Agricultura e IPNI Cono Sur.

**Destinado a:** Ingenieros Agrónomos, estudiantes avanzados y otros profesionales interesados en la temática.



### Informes:

Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" Paysandú

E-mail: [eemac@fagro.edu.uy](mailto:eemac@fagro.edu.uy)

[www.fagro.edu.uy/eemac](http://www.fagro.edu.uy/eemac)

Tel.: +598 720 2250/2259 Int. 119

Fax: +598 72 41282/27950