

## MANEJO DE LA FERTILIZACION EN MAIZ. EXPERIENCIAS EN LA REGION PAMPEANA ARGENTINA

FONTANETTO, Hugo y KELLER, Oscar

---

*Profesionales del INTA EEA Rafaela*

### Introducción

Gran parte de los sistemas de producción de la región pampeana de Argentina registraron en la última década un cambio hacia una agricultura continua lo que provocó un impacto productivo nunca antes visto en el país. Asimismo, se habilitaron a la producción nuevas áreas que estaban ocupadas con montes o bosques, debido a las posibilidades ecológicas y a aspectos económicos favorables. Lo comentado provocó un fuerte aumento en la producción nacional de granos, carne, leche y otros productos, que en la mayoría de los casos no fue acompañada por una racional rotación y nutrición de la secuencias de cultivos, factor fundamental para mantener la alta fertilidad y capacidad productiva originales de los suelos. Esto produjo un deterioro de los parámetros físicos, químicos y biológicos, que determinó que se continúe financiando a los diferentes esquemas productivos a expensas de, entre otras cosas, consumir anualmente los nutrientes almacenados en

esa “caja de ahorro”, que se continúa agotando año tras año.

En los planteos agrícolas el único aspecto favorable fue el aumento de la superficie con siembra directa (SD), lo que se combinó con una fuerte tendencia hacia dos monocultivos: el doble cultivo trigo/soja y la soja de primera, desplazando a otras secuencias que incluían al maíz, al girasol y al sorgo. Como aspectos desfavorables hay dos que son los más importantes: los menores aportes de carbono (C) al suelo debido a la “sojización” de Argentina y la falta de una adecuada reposición de nutrientes.

En este contexto se pueden detallar algunas realidades que ocurren en el área mencionada. A modo de ejemplo y utilizando los coeficientes de mineralización y humificación de las experiencias de Andriulo (inérito), se detallan a continuación las

simulaciones de los aportes de carbono (C) de diferentes secuencias agrícolas (Cuadro 1) para un período de 12 años. Los cálculos se efectuaron considerando los siguientes rendimientos para los cultivos involucrados: trigo: 2.700 kg/ha ; soja de 2a: 2.500 kg/ha ; maíz: 8.000 kg/ha y soja de 1a: 3.500 kg/ha y se consideró además una densidad aparente

del suelo de 1,25 g/cm<sup>3</sup> con un tenor de materia orgánica del 3%. Las rotaciones elegidas fueron las siguientes:

- 1) trigo/soja 2a – maíz (T/S-M)
- 2) trigo/soja 2a (T/S).
- 3) trigo/soja 2a - maíz - soja 1a (T/S-M-S).
- 4) soja de 1a. (S)

**Cuadro 1.** Aportes y balance de carbono (C) anuales y total de 4 secuencias agrícolas.

Secuencias	Aportes de Carbono (kg/ha)												
	T/S	M	T/S	M	T/S	M	T/S	M	T/S	M	T/S	M	TOTAL
<b>1</b>													
<b>C (Kg/ha)</b>	<b>145</b>	<b>281</b>	<b>145</b>	<b>281</b>	<b>145</b>	<b>281</b>	<b>145</b>	<b>281</b>	<b>145</b>	<b>281</b>	<b>145</b>	<b>281</b>	<b>2.556</b>
<b>2</b>													
<b>C (Kg/ha)</b>	<b>145</b>	<b>145</b>	<b>145</b>	<b>145</b>	<b>145</b>	<b>145</b>	<b>145</b>	<b>145</b>	<b>145</b>	<b>145</b>	<b>145</b>	<b>145</b>	<b>1.740</b>
<b>3</b>													
<b>C (Kg/ha)</b>	<b>145</b>	<b>281</b>	<b>-141</b>	<b>145</b>	<b>281</b>	<b>-141</b>	<b>145</b>	<b>281</b>	<b>-141</b>	<b>145</b>	<b>281</b>	<b>-141</b>	<b>1.140</b>
<b>4</b>													
<b>C (Kg/ha)</b>	<b>-141</b>	<b>-141</b>	<b>-141</b>	<b>-141</b>	<b>-141</b>	<b>-141</b>	<b>-141</b>	<b>-141</b>	<b>-141</b>	<b>-141</b>	<b>-141</b>	<b>-141</b>	<b>-1.692</b>

*Nota: en cursiva se detallan los aportes positivos y con Subrayado las pérdidas de C.*

Para un período de 12 años y con los rendimientos en granos considerados, la secuencia 4 (monocultivo de soja) dio un balance de C parcial y total negativo, siendo por lo tanto la de más alto índice de degradación. Para que el balance de C sea neutro (sin pérdidas como en el caso anterior) con el monocultivo soja de 1a, se debería obtener un rendimiento anual de aproximadamente 4.000 kg/ha en forma

continua. Las 3 secuencias restantes arrojaron un balance total positivo, con diferencias entre sí, siendo la secuencia 1 (T/S-M) la más favorable, que es en donde el cultivo de maíz tiene mayor presencia. Por tal motivo, es necesario que en los sistemas productivos pampeanos se incluya en mayor medida en las rotaciones agrícolas al maíz, para

sostener y aportar mayor cantidad de C al sistema vía los rastrojos. Otro factor importante del maíz es su función como cultivo antecesor de la soja, donde numerosos resultados provenientes de ensayos de toda la región pampeana Argentina en las dos últimas campañas agrícolas, muestran que los lotes de soja correspondientes al 10 % de mayor producción fueron en su mayoría fertilizados y que el cultivo antecesor fue el maíz. Esto se debe combinar con el uso racional de fertilizantes y mezclas adecuadas a cada situación, para mantener la salud del suelo y la rentabilidad del sector agropecuario (Fontanetto 2006, datos no publicados).

### **Nutrición Mineral del Maíz**

En cuanto a la nutrición mineral del maíz, la demanda de nutrientes varía proporcionalmente con los niveles de

producción logrados, los que en términos unitarios resultan mayores que los requeridos por el trigo, pero sensiblemente menores que los de la soja (Cuadro 2). La

exportación de nutrientes se relaciona con el índice de cosecha nutricional, relación entre contenido en granos y los requerimientos totales. Este índice es alto para nitrógeno (N) y fósforo (P), intermedio para azufre (S) y potasio (K) y muy bajo para calcio (Ca) y magnesio (Mg).

**Cuadro 2.** Requerimientos totales y partición de nutrientes en maíz, trigo y soja (García, 1999).

Nutriente	Requerimientos totales			Índice de cosecha		
	Soja	Maíz	Trigo	Soja	Maíz	Trigo
	kg/tn grano			%		
Nitrógeno (N)	80	22	30	75	66	66
Fósforo (P)	8	4	5	84	75	75
Potasio (K)	33	19	19	59	21	17
Calcio (Ca)	16	3	3	19	7	14
Magnesio (Mg)	9	3	3	30	28	50
Azufre (S)	7	4	4,5	67	45	25
Boro (B)	0,025	0,020	0,025	31	25	
Cloro (Cl)	0,237	0,444		47	6	
Cobre (Cu)	0,025	0,013	0,010	53	29	75
Hierro (Fe)	0,300	0,125	0,137	25	36	
Manganeso (Mn)	0,150	0,189	0,070	33	17	36
Molibdeno (Mo)	0,005	0,001		85	63	
Zinc (Zn)	0,060	0,053	0,052	70	50	44

En la Argentina, del total de elementos requeridos por el maíz para su desarrollo y producción, el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el azufre (S) son identificados como aquellos que más limitan la obtención de altos rendimientos. La ocurrencia de deficiencias de otros elementos son menos frecuentes y no presentan la magnitud de las de N, P y S.

## 1.- Prácticas de manejo relacionadas con la fertilización.

### 1.1. Cultivo antecesor.

El cultivo antecesor influye sobre la duración del período de barbecho y éste sobre el contenido de agua edáfica y de fertilidad nitrogenada actual al momento de la siembra del maíz. Todo lo comentado afecta en forma significativa la producción del maíz y la respuesta del mismo a la fertilización nitrogenada. En la Figura 1 se detalla la respuesta del maíz a la fertilización nitrogenada con diferentes cultivos antecesores (Fontanetto 2004, datos no publicados).

## NITROGENO

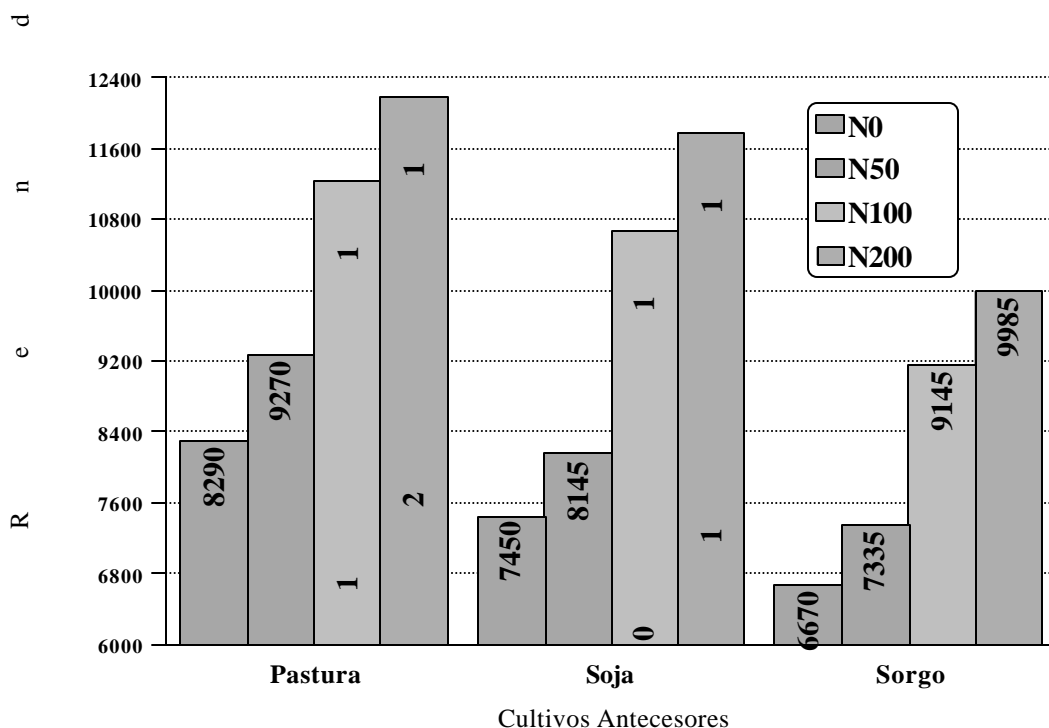


Figura 1. Respuesta del maíz a diferentes dosis de N con distintos cultivos antecesores

Cuando no se fertilizó con N, las producciones más altas se alcanzaron con el antecesor pastura y las menores con el sorgo, debido a la mayor fertilidad nitrogenada actual que provoca el primer cultivo, y con el antecesor soja las producciones fueron intermedias. Con las dosis medias y altas de N, los rendimientos máximos se lograron luego de la pastura y de la soja, como

consecuencia de una mayor cantidad de agua útil en el suelo al momento de la implantación del cultivo. El antecesor sorgo provocó los menores rendimientos por los más bajos contenidos de N-NO<sub>3</sub> y de agua edáfica a la siembra, debido al tipo de rastrojos (de alta relación C/N) y del menor período de barbecho.

## 1.2. Densidad de siembra.

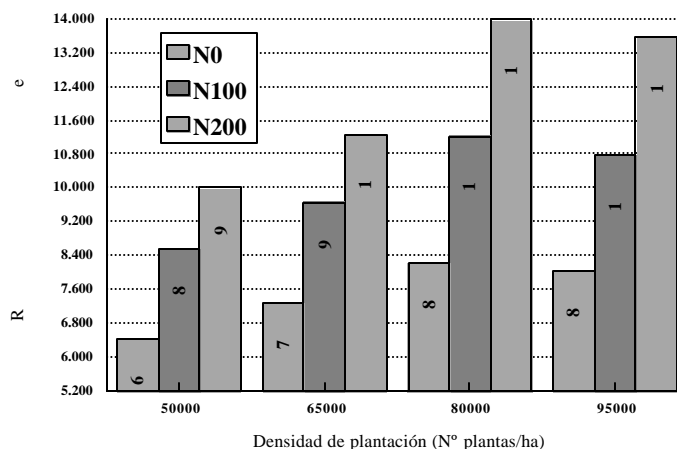
El número de plantas/ha tiene un marcado efecto sobre el comportamiento del maíz y su producción en granos, ya que con las densidades subóptimas no se aprovechan al

máximo los recursos disponibles (luz, agua y nutrientes) y con las muy altas existe una competencia intraespecífica que afecta los rendimientos. En la Figura 2 se pueden observar los resultados de 2 años de ensayos

con diferentes poblaciones de plantas y dosis

de

N.



**Figura 2.** Efecto de diferentes densidades de plantas y de dosis de N en maíz (campañas 2001/02 y 2002/03).

La densidad poblacional que provocó los mayores rendimientos fue la de 80.000 pl./ha, por debajo de la misma las producciones disminuyen por subutilización de los recursos y por encima por una competencia entre plantas que disminuye marcadamente la producción individual afectando los rendimientos. Asimismo, con 80.000 plantas/ha se obtiene la mayor eficiencia de la fertilización nitrogenada (Figura 2)

### 1.3.- Fertilización nitrogenada.

Para las recomendaciones de fertilización nitrogenada se tienen como parámetros válidos a los siguientes:

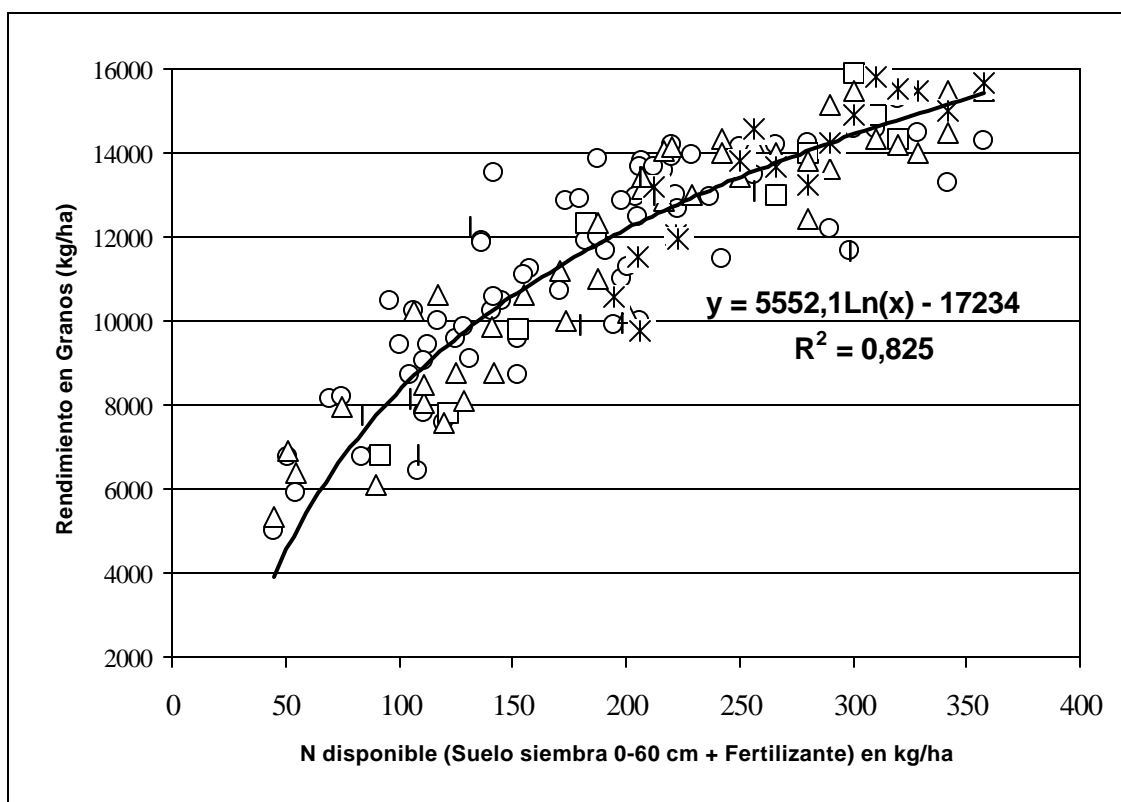
a) parámetros de suelo: N-NO<sub>3</sub> del suelo a la siembra hasta 60 cm de profundidad, Nt del suelo a la siembra (0-20 cm) y N-NO<sub>3</sub> del suelo (0-30 cm) en el estadio V6 del cultivo.

b) parámetros de planta: rendimiento objetivo.

Los parámetros mencionados permiten un ajuste aceptable, pero son mucho menos exactos que para el caso del trigo por el

efecto que tienen las deficiencias hídricas durante el período crítico. Cuando el agua no es limitante (riego) se logra un buen ajuste, pero en condiciones de secano existe una muy alta dispersión entre los datos y las

recomendaciones son menos precisas. En la Figura 3 se detallan diferentes producciones de maíz con distintos niveles de oferta nitrogenada.



**Figura 3.** Rendimientos del maíz con diferentes niveles de N disponible (N-NO<sub>3</sub> del suelo 0-60 cm a la siembra + N del fertilizante) a la siembra (n: 220) en 14 ensayos de fertilización nitrogenada realizados en las campañas 2002/03, 2003/04 y 2004/05 en la zona centro-oeste de Santa Fe para cultivos bajo siembra directa y en suelos con niveles de materia orgánica ≤ 2,8 % y con niveles de P extractable del suelo (Bray I, de 0-20 cm) > 35 ppm (Fontanetto 2005, datos no publicados).

Para una producción de 10.000 kg/ha de granos la oferta de N (N-NO<sub>3</sub> del suelo 0-60 cm a la siembra + N del fertilizante) debe ser de aproximadamente 130 kg/ha

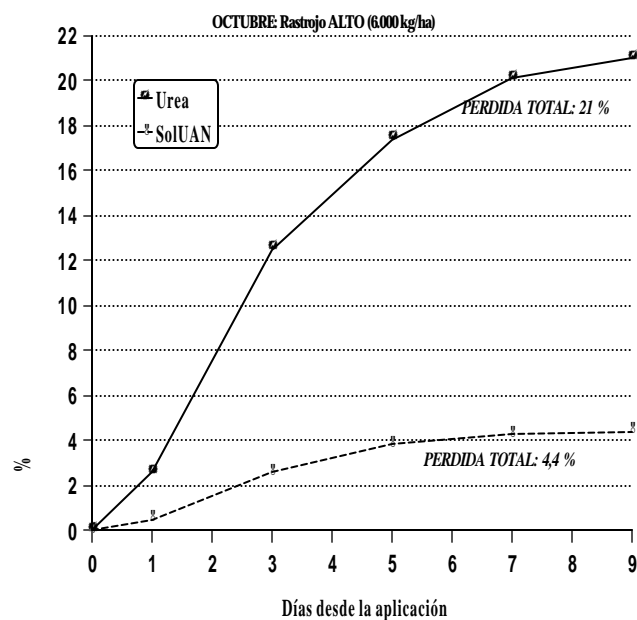
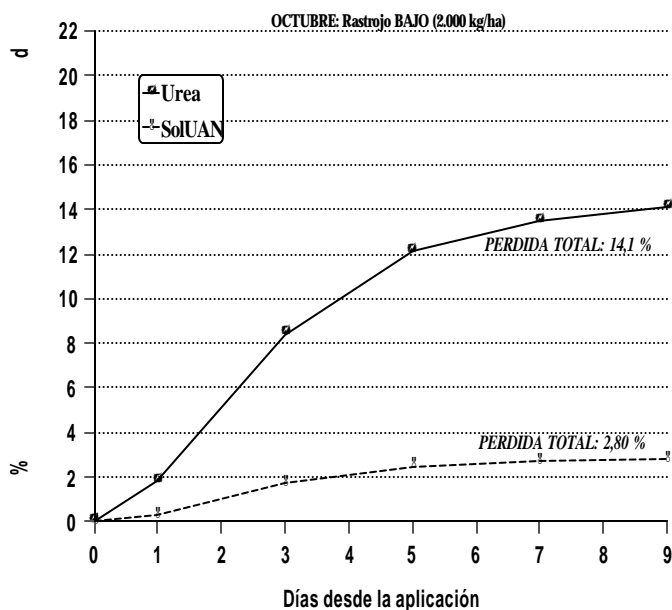
### **1.3.1. Evaluación de volatilización del N.**

Se realizaron experiencias en la región central de Santa Fe durante dos campañas agrícolas (2003/04 y 2004/05), cuyo objetivo fue evaluar las pérdidas por volatilización del nitrógeno proveniente de diferentes fuentes de fertilizante en maíz bajo siembra directa, sobre un antecesor soja y en el que se probaron los siguientes tratamientos:

- dos fuentes nitrogenadas aplicadas al voleo: Urea y SolUAN en dosis de 80 kg/ha de N, en dos meses diferentes: Octubre y Noviembre, con dos condiciones de rastrojo (Bajo: 2.000 kg/ha y Alto: 6.000 kg/ha), bajo siembra directa y con un 75 % de cobertura del suelo. Los resultados aparecen en las Figuras 4 y 5.



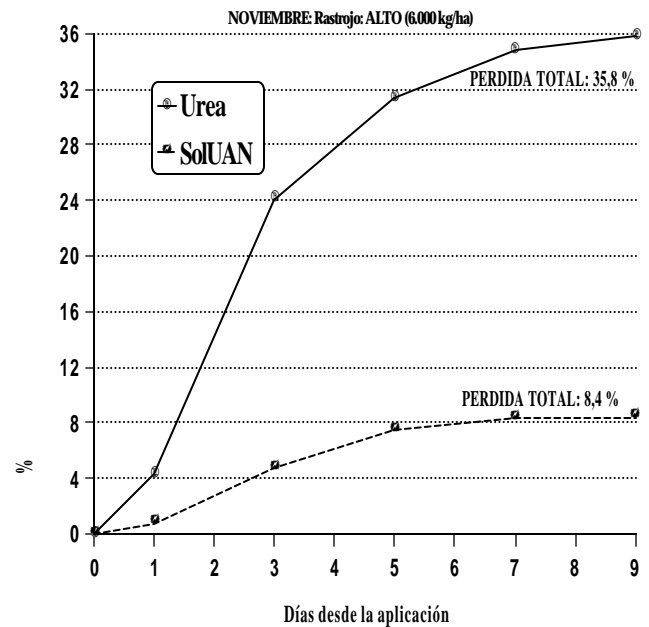
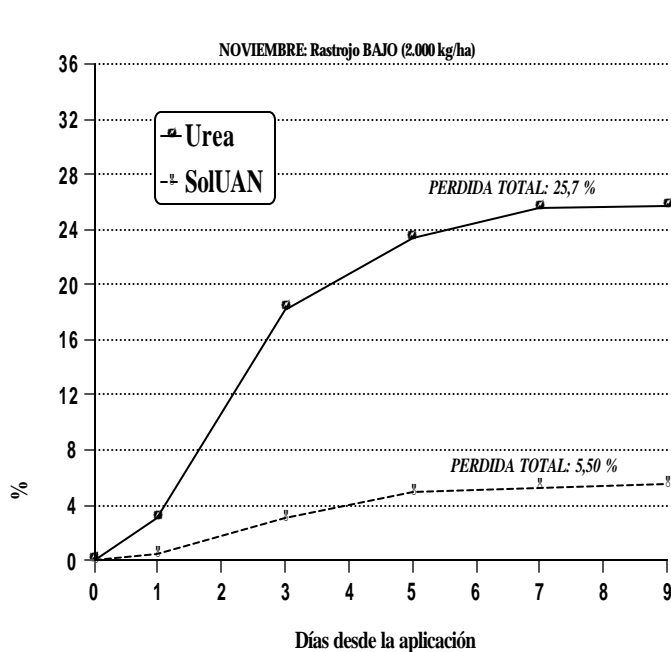
e



4a. mes de octubre (rastrajo bajo)

4b. mes de octubre (rastrajo alto)

Figuras 4a. y 4b. Pérdidas por volatilización de NH<sub>3</sub> en maíz de dos fuentes nitrogenadas aplicadas al voleo en el estadio de V6 y con dos condiciones de rastrojo (Bajo: 2.000 kg/ha y Alto: 6.000 kg/ha).



**5a. mes de noviembre (rastrajo bajo alto)**

**5b. mes de noviembre (rastrajo alto)**

**Figuras 5a. y 5b.** Pérdidas por volatilización de NH<sub>3</sub> en maíz de dos fuentes nitrogenadas aplicadas al voleo en el estadio de V6 y con dos condiciones de rastrojo (Bajo: 2.000 kg/ha y Alto: 6.000 kg/ha).

Las pérdidas por volatilización fueron mayores con Urea que con solUAN en los dos períodos evaluados y la magnitud de las mismas fue máxima al tercer día de la experiencia, correspondiéndose con los mayores valores de pH provocados por la hidrólisis que sufren los fertilizantes en el suelo luego de ser aplicados. Los mismos ocurren generalmente a partir del segundo o tercer día de la aplicación del fertilizante. En el mes de noviembre las pérdidas fueron mayores que en octubre, asociándose con

registros térmicos más altos y mayores velocidades promedio de los vientos.

**1.3.2. Evaluación de fuentes de N y formas de aplicación**

Se realizó un ensayo en el que se evaluaron tres fuentes nitrogenadas: urea (46 % de N), SolUAN (32 % de N) y SolUAN Plus (32 % de N y 2,6 % de S, que se completó a 10 % de S con el agregado de yeso disuelto en agua) aplicadas al voleo e incorporadas al suelo (al costado y por

debajo de la línea de siembra) en dosis de 80 kg/ha de N y un tratamiento testigo sin fertilizantes. Los resultados se detallan en la Figura 6.

Todos los productos produjeron mayores rendimientos que el testigo, demostrando las altas necesidades de N que tiene el maíz y que no pueden ser satisfechas con los aportes del suelo. En promedio, todos los fertilizantes provocaron mayores rendimientos al ser incorporados que al aplicarse al voleo o chorreados sobre el suelo.

El fertilizante que provocó las mayores producciones fue el SolUAN Plus, luego el SolUAN y por último la urea. La mejor

performance del SolUAN Plus demuestra la necesidad del agregado de S para altas producciones del maíz en el sitio de ensayo.

El producto que arrojó mayores diferencias entre las dos formas de aplicación fue la urea, demostrando las pérdidas por volatilización que sufre este producto al aplicarse al voleo en esa época del año (mediados de octubre). Las diferencias evaluadas para las distintas formas de aplicación del SolUAN y del SolUAN Plus no fueron estadísticamente significativas, si bien las aplicaciones incorporadas al suelo fueron mayores que las efectuadas al voleo.

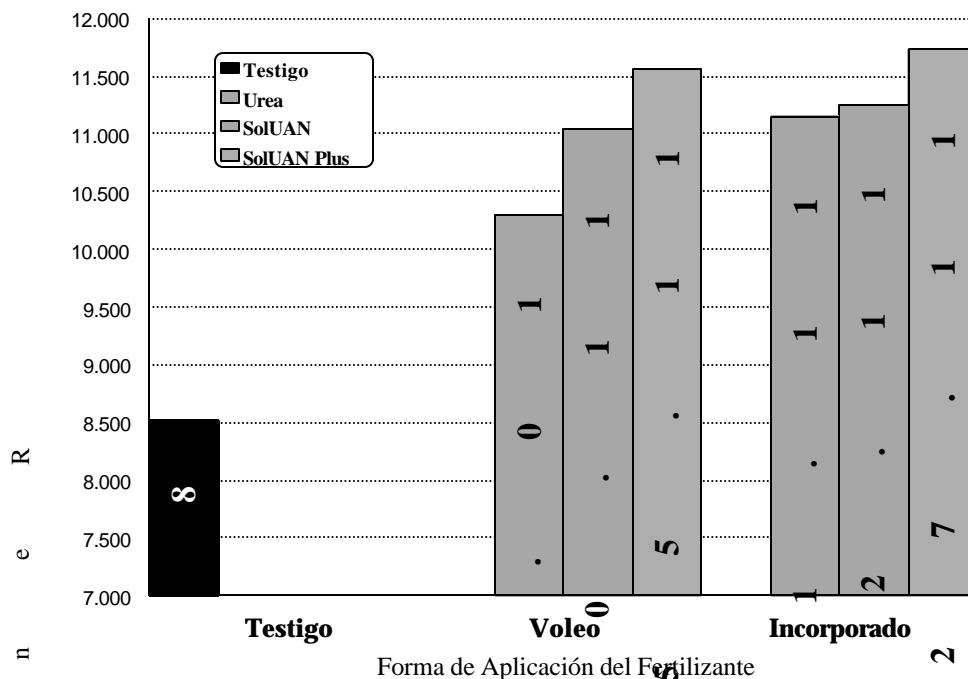


Figura 6. Efecto de diferentes fuentes nitrogenadas (con y sin S) y de formas de aplicación en maíz de primera. San Carlos (Santa Fe). Campaña 2002/03.

## FOSFORO

En la región pampeana, se determinaron áreas originalmente deficientes en P disponible como el sudeste de Buenos Aires, Entre Ríos y el área centro este de Santa Fe (Darwich, 1984; Barreca y Tasi, 1984 ; Fontanetto et al., 2003). En los últimos años, se ha observado una disminución importante en la disponibilidad de P en áreas originalmente bien provistas del norte y oeste de Buenos Aires, centro y sur de Santa Fe, sudeste de Córdoba y este de La Pampa. Esta disminución de los niveles de P

disponible se debió principalmente al desbalance ocurrido entre extracción de P por la producción de granos y la escasa reposición efectuada vía aplicación de fertilizantes.

Investigaciones conducidas durante la década del 80 determinaron umbrales críticos de Bray I entre 10 y 12 ppm para la capa de suelo 0-20 cm (Senigagliesi et al, 1984 ; Darwich, 1984), por debajo de los cuales las respuestas a la fertilización eran significativas, sin embargo esos niveles

aumentaron en el nuevo milenio a valores de 15-18 ppm (García *et al.*, 1997), debido a que los rendimientos aumentaron significativamente y entonces las necesidades del cultivo son mayores.

En el Cuadro 3 se detallan las recomendaciones para fertilización fosfatada en maíz, de acuerdo a diferentes rendimientos esperados y valores de P Bray I del suelo.

**Cuadro 3.** Recomendaciones de fertilización fosfatada para maíz según nivel de P Bray y rendimiento esperado (Echeverría y Garcia, 1998).

Rendimiento	Concentración de P disponible en el suelo (mg/kg)						
	< a 5	5-7	7-9	9-11	11-13	13-16	16-20
Ton/ha	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha						
5	59	48	43	39	35	30	
6	65	54	50	45	41	37	26
7	71	60	56	51	47	43	32
8	77	66	62	57	53	49	38
9	83	72	68	63	59	55	44
10	89	78	74	70	65	61	50
11	95	84	80	76	71	67	56
12	101	90	86	82	77	73	62
13	107	97	92	88	83	79	68
14	114	103	98	94	90	85	74

En la figura 7 se aprecian los resultados de una experiencia con dosis crecientes de P en maíz en SD en dos sitios de la región central de Santa Fe (San Carlos y Videla) en la campaña 2003/04, donde se probaron dosis crecientes de P (P0, P10, P20, P30 y P40) aplicados a la siembra e incorporados al suelo bajo la forma de superfosfato triple de calcio.

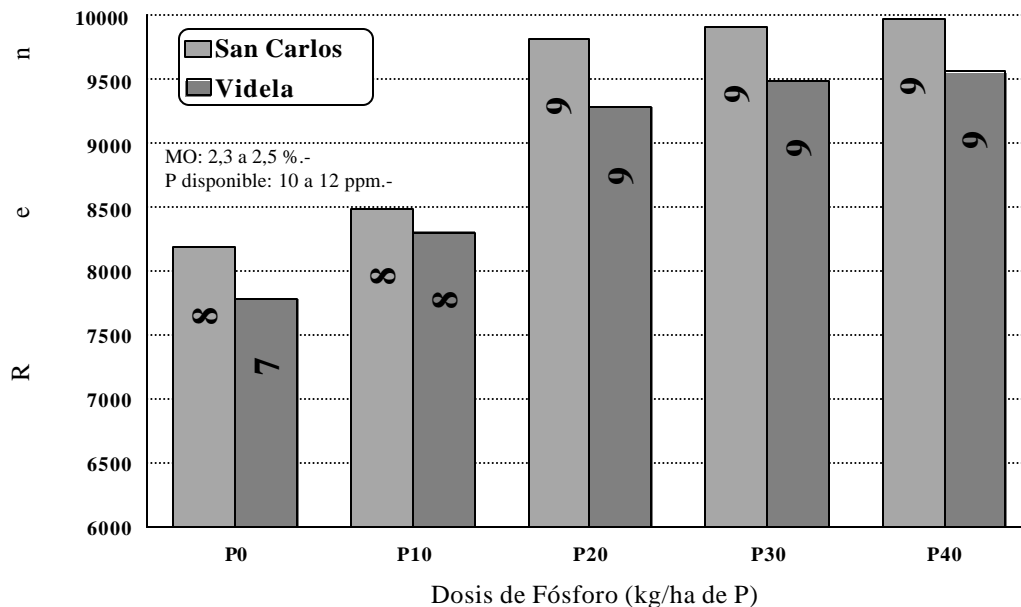


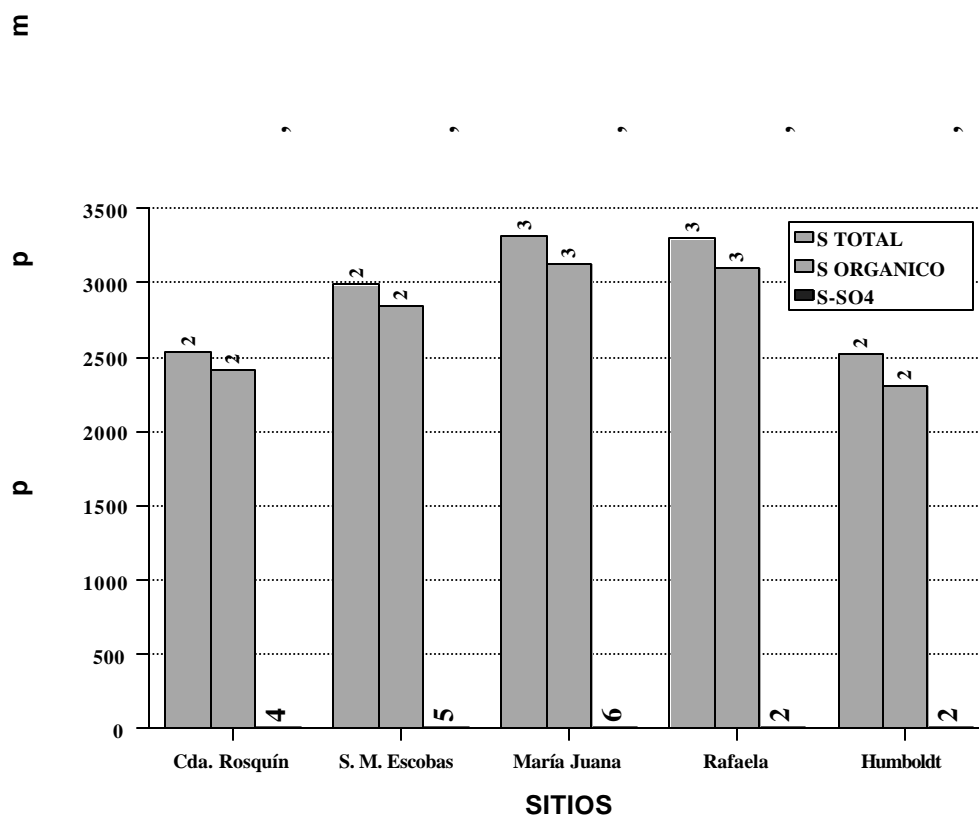
Figura 7. Respuesta del maíz a dosis crecientes de P en dos sitios de la región central de Santa Fe (campaña 2002/03). Todos los tratamientos con N100 y S20.-

La dosis de mayor eficiencia de uso del P fue la de 20 kg/ha, asimismo el sitio San Carlos fue de mayor productividad que Videla. En líneas generales los niveles críticos de P extractable (0-20 cm, Bray I) en el suelo varían entre 16-20 ppm y se recomienda aplicarlo antes o al momento de la siembra del maíz.

#### AZUFRE

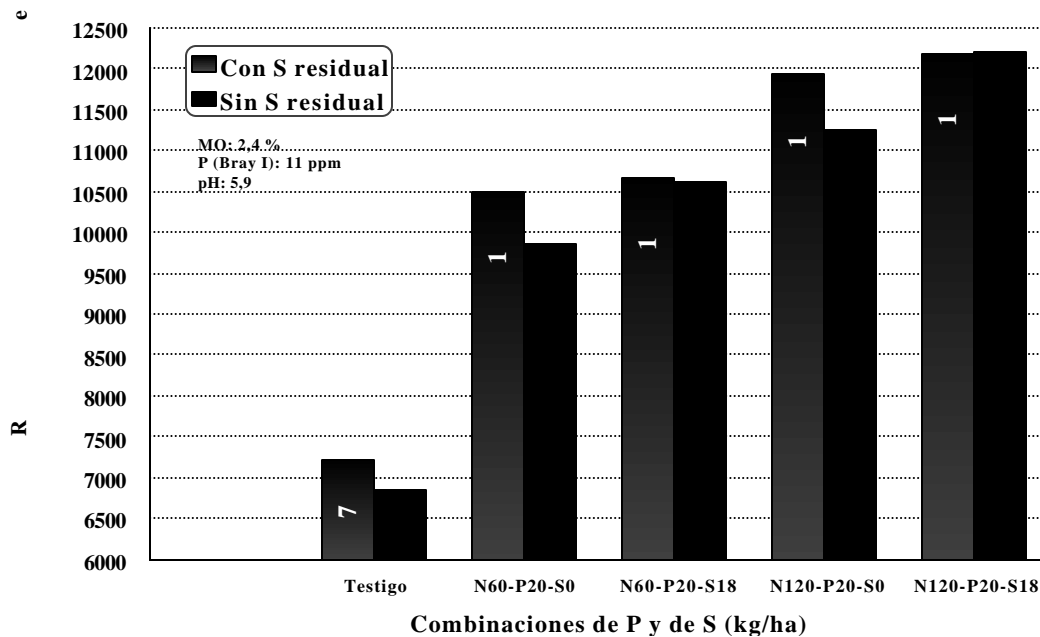
En relación al S, no está claro aún cuáles son los niveles críticos de S-SO<sub>4</sub> en el suelo, puesto que con niveles de 14-18 ppm a la siembra a veces se encuentra respuesta al

agregado de fertilizantes azufrados. Esto se debe a que la fracción S-SO<sub>4</sub> representa solamente el 2 a 3 % del S total del suelo (Figura 8) y además no existe actualmente información acerca de valores de reposición de S-SO<sub>4</sub> de la solución del suelo. Lo que más relación tiene con las respuestas a la fertilización azufrada son los niveles de materia orgánica (MO) del suelo, detectándose respuestas en el 90 % de los casos en situaciones de valores menores a 2,5 % de MO



**Figura 8.** Fraccionamiento de S en el suelo (0-20 cm) en cinco sitios de la región central de Santa Fe.

En la Figura 9 se detallan los rendimientos obtenidos en maíz con diferentes combinaciones de N (N60 y N120) y de S (S0 y S18) y una dosis de P de suficiencia (P20) en dos situaciones de manejo previo de S: con y sin, aplicado al cultivo anterior (soja de 1a.).



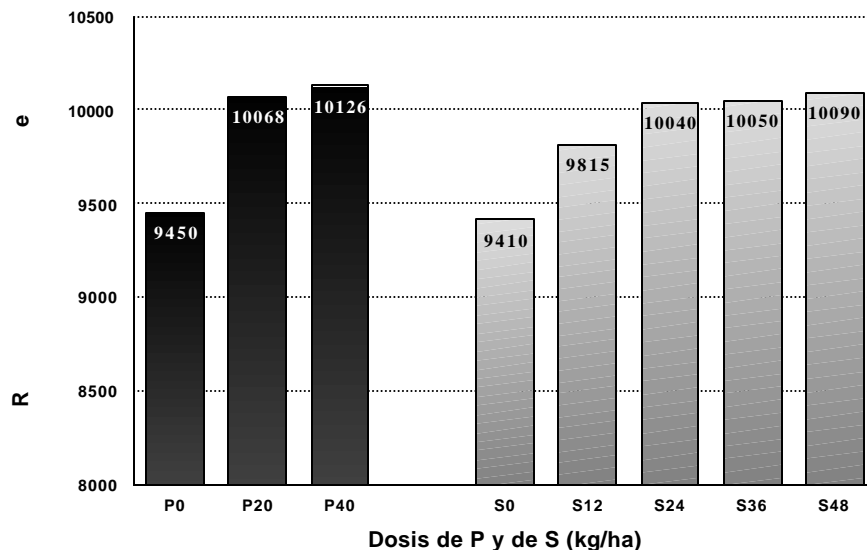
**Figura 9.** Respuesta del maíz al agregado de N y de S con y sin aplicaciones de S al cultivo antecesor soja de 1a. Bernardo de Irigoyen 2001/02.

La dosis de S aplicada al maíz (S18) solamente provocó incrementos en la producción del maíz donde no había S residual.

En una experiencia realizada en la zona rural de San Carlos (Santa Fe) se probaron diferentes combinaciones de P y de S con

suficiencia de N (120 kg/ha de N), tres dosis de P (0, 20 y 40 kg/ha) y cinco de S (0, 12, 24, 36 y 48 kg/ha), aplicadas al momento de la siembra. Los efectos separados del P y del S sobre los rendimientos del maíz se pueden ver en la Figura 10 y todos los efectos combinados en la Figura 11

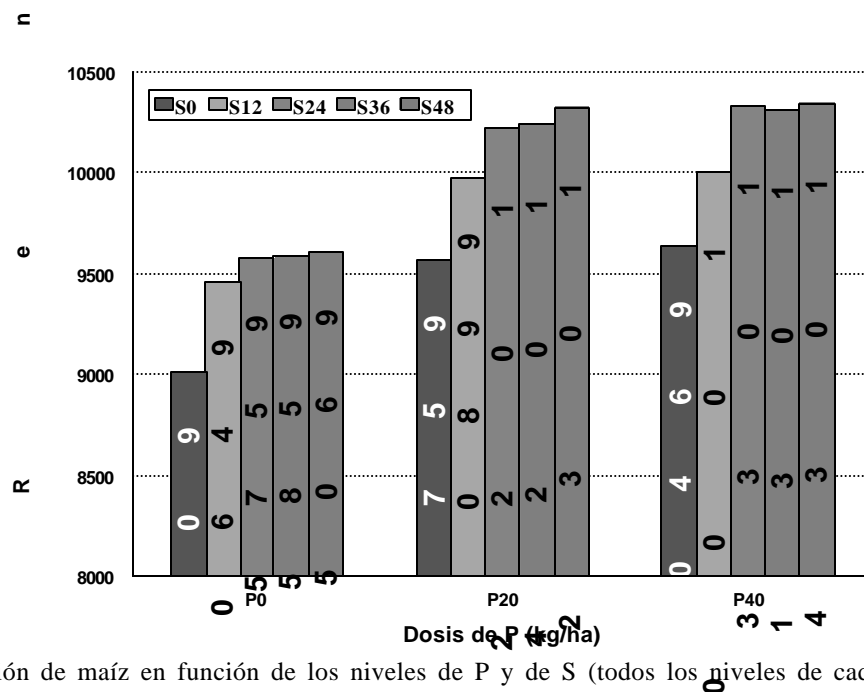




**Figura 10.** Producción de maíz en función de los niveles de P y de S con una fertilización básica de N. San Carlos (Santa Fe), campaña 2003/04.

Hubo diferencias significativas entre los tratamientos y fueron importantes los efectos debidos al P ( $Pr > F = 0,0001$ ), las respuestas al S ( $Pr > F = 0,0001$ ) y no a la interacción P x S ( $Pr > F = 0,08$ ). Los aumentos

de rendimientos de los niveles P40-S0, P40-S12, P40-S24, P40-S36 y P40-S48, respecto de P0-S0 fueron de 620, 985, 1.310, 1.290 y 1.325 kg/ha, respectivamente



**Figura 11.** Producción de maíz en función de los niveles de P y de S (todos los niveles de cada nutriente) con una fertilización básica de N. San Carlos (Santa Fe), campaña 2003/04.

Los resultados de la experiencia permitieron determinar que la fertilización con P y S, luego de una aplicación básica de N, produjo aumentos de los rendimientos del maíz. Las máximas respuestas se dieron con las dosis altas de P y las dosis medias de S. Producciones altas y sustentables de maíz necesitan como mínimo dosis de P de 20 kg/ha y de S de 12 a 24 kg/ha.

Respecto a la eficiencia de las diferentes fuentes de S disponibles en el mercado, se la

evaluó durante dos campañas agrícolas (2002/03 y 2003/04) en las localidades de San Carlos y Galvez (Santa Fe). Las experiencias consistieron en la aplicación a la siembra de diferentes fuentes de S incorporadas al suelo, las mismas fueron: FertiSAS, sulfato de amonio:  $SO_4(NH_4)_2$ , yeso agrícola (Yeso), tiosulfato de amonio (SolPlus) y Kieserita.

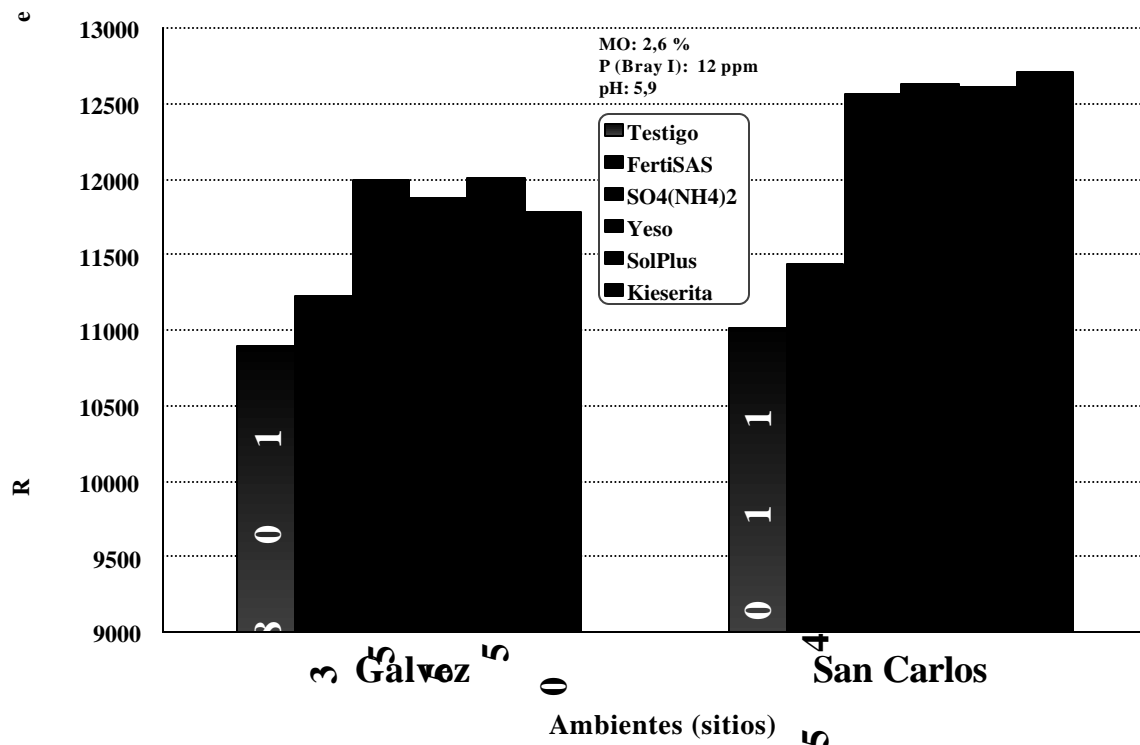


Figura 12. Producción de maíz en función de los niveles de P y de S (todos los niveles de cada nutriente) con una fertilización básica de N. San Carlos (Santa Fe), campaña 2003/04.

La eficiencia de las distintas fuentes de S fue similar, salvo para el FertiSAS que fue sensiblemente menor.

## CALCIO

Con la intensificación de uso del suelo, actualmente se podrían anexar otras restricciones además del N, el P y el S; tales como las del calcio (Ca), que constituye una base y es componente del complejo de intercambio catiónico, importante en lo referente a su función sobre los aspectos físicos y químicos del suelo. La mencionada hipótesis se fundamenta en la gran diferencia existente entre los suelos del oeste provincial, bien dotados en su capacidad de intercambio catiónico (14-16 meq/100) en

relación a los suelos del centro y del este, con niveles

inferiores (10-12 meq/100) (INTA, 1991). Por tal motivo se realizó una experiencia para evaluar como nutrientes el efecto de diferentes niveles de un compuesto cálcico-magnésico, luego de una corrección básica con N y P, sobre la producción de maíz. Las experiencias se realizaron en las localidades de La Pelada ( Dpto. Las Colonias) y Bernardo de Irigoyen (Dpto. San Jerónimo) sobre las series de suelo Esperanza y Clason,

respectivamente y bajo un sistema de producción de agricultura continua. El producto utilizado para mejorar la disponibilidad del Ca fue Granucal<sup>®</sup> que es un material granulado con 51% de carbonato de calcio (CO<sub>3</sub>Ca) y 37% de carbonato de magnesio (CO<sub>3</sub>Mg), equivalente a una concentración de 20,5% de Ca y a 10,7% de

Mg. Los tratamientos con Granucal<sup>®</sup> fueron: **0 kg/ha**, **150 kg/ha** (Ca: 31kg), **300 kg/ha** (Ca: 62kg), **450 kg/ha** (Ca: 93kg) y **600 kg/ha** (Ca: 123kg). En La Pelada el híbrido utilizado fue Dekalb 757 y en Bernardo de Irigoyen AX-884.

Las características de los suelos en las dos localidades se presentan en el Cuadro 4.

**Cuadro 4.** Características químicas del suelo en las dos localidades previo a la siembra del maíz.

Localidad	MO	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P	S-SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Ca	Mg	Na	K	T	pH
	%	(ppm)			(meq/g)					
La Pelada	2,5	20	24	11	5,8	1,2	0,4	1,4	10,6	5,4
B. Irigoyen	2,8	16	38	9	8,7	1,5	0,5	1,5	11,8	5,9

Ambos sitios estaban medianamente provistos de materia orgánica (MO) y de N asimilable. Por el contrario los valores del P extractable fueron altos. El S se lo consideró próximo al nivel crítico de 10 ppm, aunque en la región existe poca información sobre el particular. Con respecto a los cationes que constituyen las bases de intercambio se utilizó como referencia, para un óptimo desarrollo de las plantas, el concepto de Graham (1959) citado por Mc Lean (1977) quien establece como satisfactorios para el Ca, el Mg y el K valores de 75, de 10 y de 2,5-5%, respectivamente del valor total (T). En La Pelada los porcentajes de saturación para el Ca, el Mg y el K fueron 54,7, 11,3 y 13%, respectivamente, mientras que en

Bernardo de Irigoyen fueron de 74, 12,7 y 12,7%, respectivamente. De los datos surge que, aunque no es terminante, en las dos localidades

el Ca fue inferior al valor de referencia mientras que el Mg fue ligeramente superior y el K

superó con amplitud la proporción deseable, corroborando la abundancia de este elemento en la mayoría de los suelos de la provincia de Santa Fe. En la localidad de La Pelada el pH fue 5,4 mientras que en B. de Irigoyen el mismo fue ligeramente ácido y normal para la mayoría de los horizontes superficiales de los suelos del centro de la provincia de Santa Fe. En B. de Irigoyen todos los tratamientos

difirieron del testigo lográndose la mayor diferencia con 450 kg/ha de Granucal®. Los tratamientos con S difirieron del testigo pero fueron similares entre sí, indicando que el S contribuyó a la mayor producción de maíz pero no hubo diferencias entre las fuentes.

Los aumentos en la producción de maíz podrían atribuirse a una rápida provisión de Ca soluble a la solución del suelo y mejorando así la oferta natural del complejo de intercambio. En función de los datos del

Cuadro 4, posiblemente el Ca haya tenido mayor incidencia que el Mg sobre los incrementos de rendimiento, dado que el porcentaje de saturación fue inferior al deseable y que además ejerce una influencia positiva sobre la absorción de importantes aniones tales como fosfatos, nitratos y sulfatos (Foote and Hanson, 1964).

El efecto del Ca y del Mg sobre la variación de los rendimientos de maíz se puede apreciar en la Figura 13.

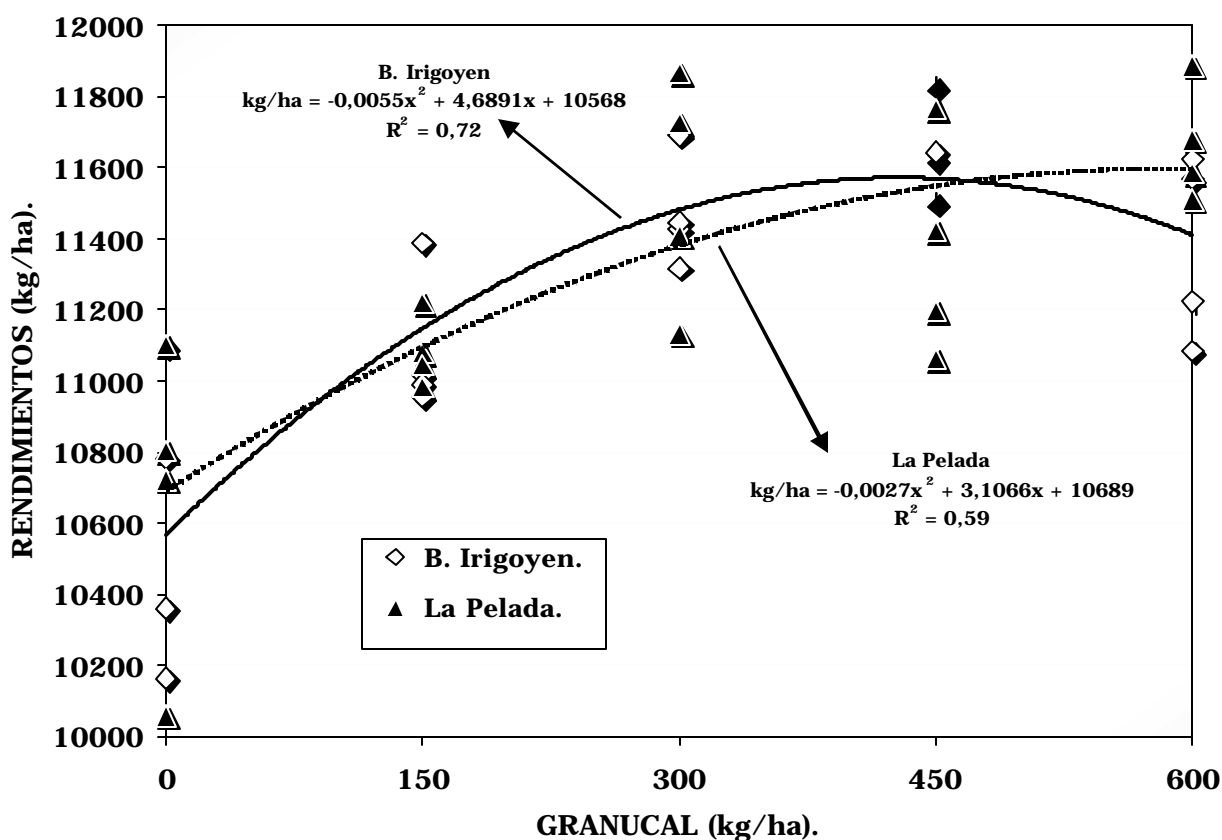


Figura 13. Variación del rendimiento de granos del maíz en dos localidades del centro de Santa Fe y su relación con dosis crecientes de Granucal®. (Fuente: Vivas et al, 2001).

Los resultados ajustados por una regresión indican que para Bernardo de Irigoyen los mayores rendimientos se podrían haber producido con 426 kg/ha de Granucal® lo cual implica un incremento de producción de

## ZINC

En sistemas de producción de maíz en siembra directa con alto nivel tecnológico en los que se trata de optimizar las prácticas de manejo como: selección de híbridos, control de plagas, densidad de plantas, enfermedades, fertilización básica con N, P y S, etc., se pueden presentar deficiencias de otros nutrientes y obtener respuestas a su aplicación como fertilizantes, tal como es el agregado del micronutriente zinc (Zn). El maíz es una especie particularmente sensible a las deficiencias de Zn, especialmente en los ambientes que tienen historia de agregado de P, dado el antagonismo P-Zn que se presenta en el suelo.

Por otra parte, resulta oportuno destacar la importancia de un adecuado ajuste en el agregado de los principales nutrientes determinantes de rendimiento en estos sistemas (Nitrógeno, Fósforo y Azufre), así como el perfil nutricional existente en el suelo a la hora de analizar los resultados. El objetivo principal de este trabajo es analizar la respuesta del maíz al agregado de Zn en distintas etapas del cultivo (tratamientos de semilla y aplicaciones foliares durante V6) y

999 kg/ha. En cambio en La Pelada ocurrió algo similar pero con 575 kg/ha de Granucal® que significó una producción extra de 994 kg/ha de grano.

en diferentes ambientes. Además, en uno de los sitios se evaluó la interacción de dichas alternativas con distintas dosis de N y S.

El ensayo fue realizado durante la campaña 2004/05 en cuatro localidades de la región central de Santa Fe en sistemas de siembra directa estabilizados: uno en la E.E.A. Rafaela (campo de verano) y los otros tres en campos de productores de San Vicente, María Juana y San Carlos Norte. La siembra de los distintos híbridos utilizados (AX 888 MG, Morgan MASS 462 BT y AX 890 MG) se llevó a cabo entre el 10/9/2004 y el 19/9/2004. El aporte de Zn se realizó con dos fertilizantes: Treposyn Zn (tratamiento de semilla) y Zintrac (Tratamiento Foliar). En todos los sitios se realizaron 4 tratamientos con tres repeticiones cada uno:

T0: Testigo  
T1: Tratamiento semilla con **Teprosyn Zn** (4 l / tn de semilla)

T2: Tratamiento semilla con **Teprosyn Zn** (4 l / tn de semilla) + Tratamiento foliar con **Zintrac** (700 cc/ha) en V6.  
 T3: Tratamiento foliar con **Zintrac** (700cc/ha) en V6.

Se evaluó el rendimiento en granos y sus componentes (plantas y espigas/ha) y la humedad del grano a cosecha. En las Figuras 14 y 15 se detalla el rendimiento en granos del maíz con los tratamientos de Zn.

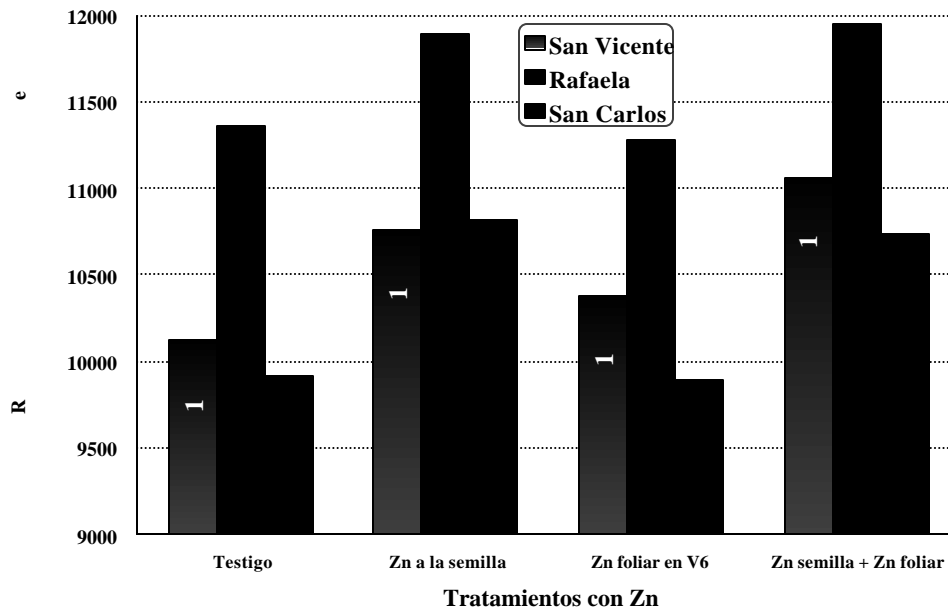
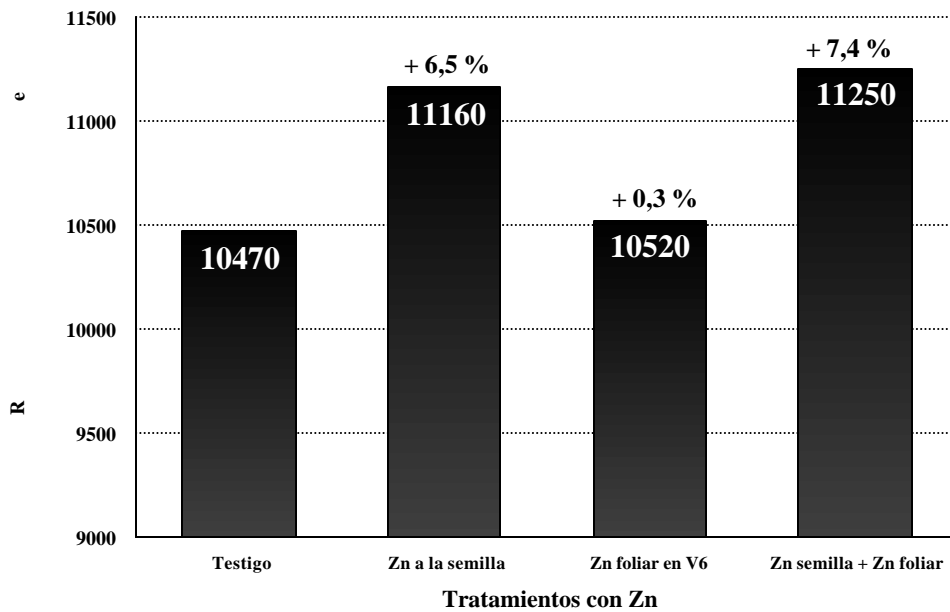


Figura 14. Rendimiento de granos de los distintos tratamientos en los diferentes sitios.



**Figura 15.** Rendimiento de granos promedio de los distintos tratamientos y porcentaje de incremento con respecto al testigo.

Se obtuvo un incremento promedio con respecto al testigo de 656 kg/ha para el tratamiento con Teprosyn, de 88 kg/ha con el tratamiento de Zintrac en V6 y de 756 kg/ha para el tratamiento con Teprosyn Zn +

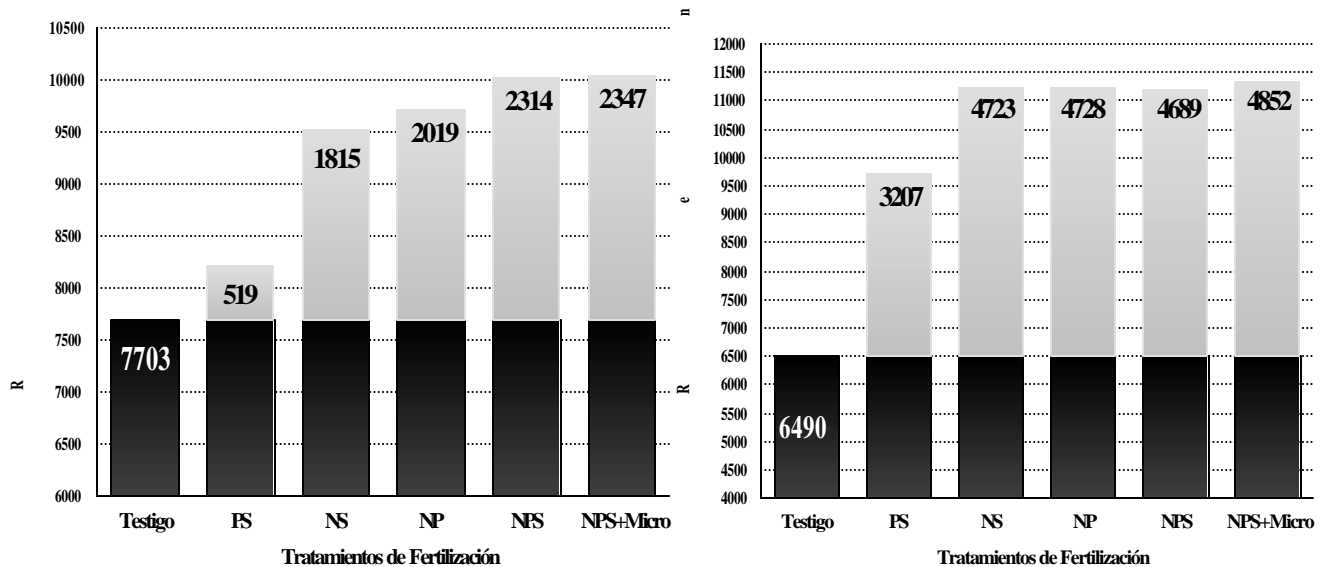
Zintrac en V6. Se registraron aumentos de la producción del maíz por efecto de la fertilización con la semilla y a su combinación con la pulverización foliar, sin efectos de ésta última por sí sola.

## RESULTADOS DE ALGUNAS EXPERIENCIAS EN LA REGION PAMPEANA

Se han observado importantes respuestas del maíz al agregado de combinaciones de N, P y S en la zona pampeana núcleo de Argentina. A continuación se presentan los resultados de

experiencias de fertilización para maíz en siembra directa, conducidas por INPOFOS, AAPRESID y el CREA durante dos campañas agrícolas (2000/01 y 2001/02). Las mismas corresponden a 16 ensayos en total (Figuras 16A y 16B).





**Figuras 16.a y 16.b.** Rendimientos promedio de 16 ensayos (8 sitios c/u, de ensayos INPOFOS-CREA-AAPRESID, correspondientes a las campañas 2000/01 y 2001/02) del Maíz con diferentes combinaciones de N, de P y de S (adaptado de Ambroggio et al., 2002 y de García et al., 2002; datos no publicados)

En las Figuras 16.A y 16.B se demuestra la alta respuesta del maíz al agregado de diferentes combinaciones de N, P y S. Al respecto se puede apreciar en la Figura 16.A que el tratamiento NPS produjo un 14,6% más de rendimiento que el NP y en la Figura 16.B se obtuvieron producciones similares

**Beneficio Económico.**

En el contexto presentado, la principal herramienta es tratar de aportar la mayor cantidad de rastrojos posible al suelo y las dos maneras más efectivas serían: implementar secuencias donde el maíz tenga más protagonismo y un mayor y más racional uso de los fertilizantes. Está ampliamente demostrado

con los tratamientos NP y NS, siendo el último de menor costo y por lo tanto es una alternativa más económica para alcanzar los mismos rendimientos. En líneas generales, los incrementos más significativos se dieron cuando el N estuvo presente en las distintas mezclas de fertilizantes.

el alto retorno económico de la fertilización. A modo de ejemplo se presentan en el Cuadro 5 los resultados de rendimientos de maíz correspondiente a los 16 ensayos de fertilización realizados entre las campañas 2000/01 y 2001/02 entre el INPOFOS, AAPRESID y CREA., para la zona núcleo pampeana.

**Cuadro 5.** Rendimientos promedio del maíz de dos campañas agrícolas (2000/01 y 2001/02), costo de diferentes combinaciones de fertilizantes y márgenes brutos de los cultivos para el área pampeana núcleo de Argentina (datos no publicados).

Tratamientos de Fertilización	Dosis de Fertilizante (kg/ha)	Rendimiento en Granos (kg/ha)	Rendimiento de Indiferencia (kg/ha)	Costo del Fertilizante y Aplicación (U\$S/ha)	Margen Bruto (U\$S/ha)
<b>Testigo</b>	0	7096	3554	-	189.6
<b>P37-S25</b>	SFT-185 + S.A-104	8959	4969	75.78	213.6
<b>N150-S25</b>	Urea-280 + S.A-104	10365	5345	95.88	268.8
<b>N150-P37</b>	Urea-280 +	10470	6002	131.1	239.2
	SFT-185				
<b>N150-P37-S25</b>	Urea-280 + SFT-185	10598	6381	151.38	225.8
	S.A-104				

**Urea-280:** 280 kg/ha de urea ; **SFT-185:** 185 kg/ha de superfosfato triple de calcio y **S.A-104:** 104 kg/ha de sulfato de amonio.

Los resultados del Cuadro 5 pueden ser extrapolados a varias zonas del área pampeana y demuestran que combinaciones de N, P y S son rentables y de mayor margen bruto que la del tratamiento testigo sin fertilización. Asimismo, es necesario acotar que las mezclas que contienen P37 y S25 dejarán un efecto residual sobre el cultivo que le sigue al maíz en la rotación.

### Consideraciones finales

La eficiente fertilización del maíz debe contemplar aspectos de manejo como cultivo antecesor y densidad de siembra.

La recomendación de la fertilización nitrogenada debe considerar la oferta de N disponible para el cultivo y el rendimiento esperado.

Las pérdidas de N por volatilización en aplicaciones al voleo de postemergencia son diferentes de acuerdo a la fuente nitrogenada y la cantidad de rastrojo en superficie.

La eficiencia de la fertilización nitrogenada en postemergencia depende de la fuente elegida y la forma de incorporación.

En el manejo de la nutrición fosforada deben considerarse los niveles de P extractable del suelo a la siembra y las dosis más eficientes se encuentran entre 15-20 kg/ha de P aplicado.

Las deficiencias de azufre fueron frecuentes en suelos de la región central de Santa Fe.

Las aplicaciones de S presentan residualidad en el suelo y las fuentes disponibles presentan eficiencias similares entre sí, salvo el S elemental.

La oferta de P limita la expresión de la respuesta al agregado de S para el maíz.

Actualmente comienzan a manifestarse en ciertas áreas respuestas al agregado de Ca.

En ciertas regiones se verificaron respuestas al agregado de Zn, siendo las aplicaciones con la semilla las más eficientes.

Existe mucha información en el área pampeana Argentina sobre los efectos positivos de la fertilización balanceada en maíz, con amplios beneficios económicos.

Hasta el presente, el N, el P y el S son los elementos que en mayor medida controlan la producción del maíz en la región pampeana.

## BIBLIOGRAFIA

- Albrecht, R. E.; H. S. Vivas; H. Fontanetto y J. L. Hotián. 2000. Residualidad del fósforo y del azufre en Soja sobre dos secuencias de cultivos. Campaña 1999-2000. En. Información Técnica de Soja y Maíz de Segunda. Campaña 2000. INTA EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 93.
- Albrecht, R. ; H. Vivas ; H. Fontanetto y J. Hotián. 2002. Franjas de evaluación exploratorias de fertilización en trigo y su residualidad en soja, en dos secuencias de cultivo. Bernardo de Irigoyen. Santa Fe. INTA, Estación Experimental

Agropecuaria Rafaela. Información Técnica de cultivos de verano. Campaña 2002. Publicación Miscelánea N° 97, N° 10: 1-4.

- Barreca M. y H. Tasi. 1984. Contenido de fósforo asimilable en los suelos comprendidos al oeste del Río Gualeguay en la Provincia de Entre Ríos. Publicación Técnica No. 9. EERA INTA Paraná. Entre Ríos.
- Darwich N. 1984. Tecnología disponible para el cultivo de maíz en la zona sudeste de la Provincia de Buenos Aires. EEA INTA Balcarce.
- Echeverría H. y F. Garcia. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. Boletín Técnico No. 149. EEA INTA Balcarce.
- Fontanetto, H.; O. Keller; J. Borsarelli y C. Gagliano. 1999. Efecto del nitrógeno y del azufre en maíz de segunda. INTA, EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 89: 139-141.
- Fontanetto, H. ; O. Keller ; R. Inwinkelried ; N. Citroni and F. García. 2000. Phosphorus and sulphur Fertilization of corn in the Northern Pampas (Argentina). Better Crops International. Vol. 14 (1): 3-5. May 2000.
- Fontanetto, H. ; H. Vivas ; O. Keller ; J. Alesso ; J. Borsarelli y C. Grosso. 2000. Franjas exploratorias de fertilización en trigo. Campaña 1999/2000. INTA, Estación Experimental Agropecuaria

- Rafaela; Macrorregión Pampeana Norte. Publicación Miscelánea N° 91, N° 5 : 1-4.
- Fontanetto, H. y O. Keller. 2001. Efecto de diferentes secuencias de cultivos en siembra directa continua sobre propiedades edáficas de un Argiudol en la región pampeana norte de Argentina. En: Siembra Directa en el Cono Sur. PROCISUR. IICA. Documentos: 269-273.
  - Fontanetto, H., H. Vivas, R. Albrecht y J. Hotian. 2003. La fertilización con N, P y S y su residualidad en una secuencia agrícola de la región central de Santa Fe: Efecto sobre los rendimientos de granos. INPOFOS Cono Sur, Simposio “El fósforo en la Agricultura Argentina”, Rosario (Arg.), 91-93.
  - Fontanetto, H. ; M. Diaz-Zorita y H. Vivas. 2004. efecto de la inoculación y fertilización con fosforo y azufre sobre la nodulación y los rendimientos de Soja. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, 22 al 25 de junio de 2004. Resúmenes: 143.
  - Foote, B. D., and J. B. Hanson. 1964. Ion uptake by soybean root tissue depleted of calcium by ethylenediaminetetraacetic acid. *Plant Physiol.* 39: 450-460.
  - García F., K. Fabrizzi, M. Ruffo y P. Scarabicchi. 1997. Fertilización nitrogenada y fosfatada de maíz en el sudeste de Buenos Aires. Actas VI Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.
  - García, F. O. 1999. Fósforo y Azufre en el cultivo de maíz. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur. INPOFOS/PPI/PPIC, Cono Sur.* 3: 6-9.
  - INTA. 1991. Carta de Suelos de la República Argentina. Hojas 3160 – 26 y 25. Esperanza-Pilar. INTA EEA Rafaela. 135 p.
  - Keller, O. y H. Fontanetto. 2000. Fertilización en soja. Experiencias con azufre en el centro de Santa Fe. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela; Centro Regional Santa Fe. Publicación Miscelánea N° 93, N° 5 : 1-3.
  - Keller, O. y H. Fontanetto. 2001. Fertilización nitrogenada y azufrada en trigo. Resultados preliminares de fuentes, dosis y momentos de aplicación. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Publicación Miscelánea N° 94, N° 14 : 1-4.
  - Lamond, R. E. 2000. Sulphur in Kansas. Plant, Soil, and Fertilizer Consideration. MF-2264. Soil Fertility. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. 4p
  - Mc Lean, E. O. 1977. Contrasting Concepts in Soil Test Interpretation: Sufficiency Levels of Available Nutrients Versus Basic Cation Saturation Ratios. In. *Soil Testing: Correlating and Interpreting the Analytical Results.* Eds. Peck, T. R.; J. T. Cope and D. A. Whitney. ASA Special

- Publicacion Number 29. Madison, Wisconsin.
- SAS Institute. 1986. SAS/STAT Guide for personal computer. Version 6.04. SAS Institute, Cary, NC.
  - Senigagliesi C., R. García y M.L. de Galetto. 1984. Evaluación de la respuesta del maíz a la fertilización nitrogenada y fosfatada en el área centro-norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe. III Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino.
  - Vivas, H. S.; R. Moresco; S. Gambaudo y O. Quaino. 1981. Evaluación de los rendimientos de maíz fertilizado en relación con distintos factores de productividad . INTA EERA Rafaela, Publicación Técnica N°14. 19p.
  - Vivas, H. S. ; H. Fontanetto y R. Albrecht. 2001. FERTILIZACION CON CALCIO, MAGNESIO Y AZUFRE SOBRE LA PRODUCCION DE MAIZ EN DOS SITIOS DEL CENTRO DE SANTA FE. Información Técnica de Cultivos de Verano. Campaña 2001. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Publicación Miscelánea N° 95, N° 4: 1-5.
  - Vivas H. S. (1), H. Fontanetto, (1), R. Albrecht (1), C. Quintero (2) y G. Boschetti (2). 2001b. Fósforo y Azufre en la Producción de Trigo en un Suelo del centro de Santa Fe. V Congreso Nacional de Trigo, III Simposio Nacional de Cereales de siembra otoño invernal. Resúmenes.
  - Vivas, H. ; H. Fontanetto ; R. Albrecht y J. L. Hotian. 2001c. Fertilización con Fósforo y Azufre para la Producción de Trigo en el departamento San Jerónimo. 2000/01. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Publicación Miscelánea N° 94, N° 12 : 1-6.
  - Weil, R. R. and S. K. Mughogho. 2000. Sulfur Nutrition of Maize in Four Regions of Malawi. Agron. J. 92:649-656.