

FERTILIZAR

ASOCIACION CIVIL

Noviembre 2013 | N° 27

FERTILIZACIÓN A LA SEMILLA Y FOLIAR CON ZINC EN MAIZ

(RESULTADOS DE ENSAYOS A CAMPO)

• **RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN EN DIFERENTES GRUPOS DE MADUREZ DE SOJA EN CAMPAÑAS CLIMÁTICAMENTE CONTRASTANTES**

• **FERTILIZACIÓN FOLIAR PRINCIPIOS CIENTÍFICOS Y EXPERIENCIAS A CAMPO**



Sumario

REVISTA FERTILIZAR - N° 27 - Noviembre 2013

EDITORIAL

Por **María Fernanda González Sanjuan**

▶ 03



Fertilización a la semilla y foliar con zinc en maíz.

Resultados de ensayos a campo

Por: **Esteban Cearlo, Federico Lagrassa, Florencia Missart y Edgardo Arévalo**

▶ 04

06



Fertilizantes arrancadores líquidos en maíz

Por: **Ricardo Melgar, Enrique Figueroa, Gabriel Kuriger y Diego Saba**



Respuesta a la fertilización en diferentes grupos de madurez de soja en campañas climáticamente contrastantes.

Por: **Gustavo Ferraris y Lucrecia Couretot. INTA Pergamino**

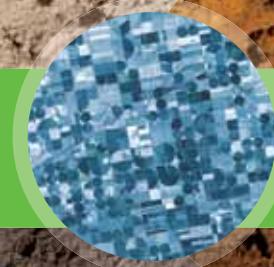
▶ 10

16



El zinc en el maíz

Por **Ing. Ricardo Melgar**



Fertilización foliar, principios científicos y experiencias a campo

Por: **Dra. Victoria Fernández, Dr. Thomas Sotiropoulos y Dr. Patrick Brown**

▶ 22

27



La fertilización nitrogenada afecta tamaño y contenido de proteína en granos de cebada cervecera

Por: **Patricio Magliano, Pablo Prystupa y Flavio Gutierrez Boem**



Novedades Fertilizar ▶ 30

Mi primer artículo ▶

Elaboración de un índice regional de productividad de suelo aplicando la metodología de redes neuronales artificiales.

Por: **Josefina Luisa de Paepe y Roberto Álvarez**
Director: Alejandro Galetto

▶ 32



STAFF

FERTILIZAR
Asociación Civil**Presidente**

Pablo Pussetto (Profertil S. A)

Vicepresidente 1º

Víctor Accastello (ACA)

Vicepresidente 2º

Jorge Bassi (Bunge Argentina S.A.)

Secretario

Eduardo Caputo (YPF)

Prosecretario

Camila López Colmano (Nidera S.A.)

Tesorero

Manuel Santiago (Bunge Argentina S.A.)

Protesorero

Marco Prenna (ACA Coop. Ltda.)

Vocales Titulares

Federico Daniele (ASP)

Florencia Schneeberger (YARA)

Pedro Faltthausen (Bunge Argentina S.A.)

Mariano Scariabarossi (MOSAIC S.A.)

Revisores de Cuentas

Francisco Llambías (Profertil S. A)

Guillermo Pinto (ASP)

Comité Técnico

R. Rotondaro

G. Deza Marín

M. Palese

M. Díaz Zorita

G. Pugliese

G. Moreno Sastre

D. Germinara

O. López Matorras

M. F. Missart

Gerente Ejecutiva

M. Fernanda González Sanjuan

ACA	MOSAIC
ASP	NIDERA
AGRILQUIDSOLUTIONS	NITRON
AMEROPACONOSUR.SRL	NOVOZYMES
BUNGE	PHOSCHEM
COMPOARGENTINA	PROFERTIL
ELBATEL	RECUPERAR SRL
EMERGER	RIZOBACTER
FULLTECSRL	STOLLERARGENTINA
HELMARGENTINA	TIMACAGROARGENTINA
KEYTRADEAG	TRANSAMMONIA
LOUISDREYFUS COMMODITIES	YARA
MOLNOSRIODELAPLATA	YPFSA.

Asesor de Contenidos

Ricardo Melgar

Corrección

Martín L. Sancia

Coordinación General

Paula Vázquez

Producción

Horizonte A Ediciones

EDITORIAL ▶



En este último número del año de nuestra revista trataremos diferentes temas, vinculados principalmente a la Campaña Gruesa. Entre estos, incluimos artículos como: "Fertilización a la semilla y foliar con Zinc en maíz: Resultados de ensayos a campo", "Fertilizantes Arrancadores Líquidos en Maíz", "Respuesta a la fertilización en diferentes grupos de madurez de soja en campañas climáticamente contrastantes", "El zinc en el maíz", "La fertilización nitrogenada afecta tamaño y contenido de proteína en granos de cebada cervecera".

Además, continuando con el espacio destinando a los investigadores más jóvenes del sector compartimos una nueva edición de mi primer artículo titulado "Desarrollo de un índice regional de productividad de suelos utilizando un modelo de red neuronal artificial".

Por último, incluimos información de dos eventos que hemos realizado con periodistas en los últimos meses del año. El primero relacionado a la campaña de soja, donde destacamos el impacto de la fertilización con altas dosis en soja. Desde Fertilizar afirmamos que fertilizar la soja con dosis altas tiene un impacto económico y productivo, ya que existe una brecha importante de mejora en los rendimientos alcanzados.

El segundo encuentro que llevamos a cabo fue una reunión en localidad de Campana, donde analizamos la campaña de maíz 2013/2014 y sus estrategias de fertilización, destacando el rol clave de este cultivo en un sistema productivo sustentable. Allí expresamos que sembrar maíz es importante por la creciente demanda a nivel mundial, el aumento de la demanda local y por los beneficios del margen de la rotación y en la conservación del suelo.

Una vez más, a través de la organización de este tipo de actividades y de la edición de esta revista, entre otras acciones que coordinamos desde nuestros inicios, trabajamos en pos de concientizar sobre la importancia del uso racional del fertilizante y la sustentabilidad del sistema productivo, a través de la difusión de información técnico-científica adaptada a la realidad local, que explique el impacto agronómico y económico del agregado balanceado de nutrientes sobre la productividad de cultivos y pasturas y sobre la fertilidad del suelo para una agricultura sustentable.

Aprovechamos esta oportunidad para desearles un buen fin de año y un exitoso 2014, que nos encontrará celebrando nuestro 10º aniversario, en el que prevemos intensificar nuestros esfuerzos para seguir cumpliendo con nuestra razón de ser.

Cordialmente,

Ing. Agr. Ma Fernanda González Sanjuan
Gerente Ejecutivo

FERTILIZACIÓN A LA SEMILLA Y FOLIAR CON ZINC EN MAÍZ

RESULTADOS DE ENSAYOS A CAMPO

Esteban Ciarlo, Federico Lagrassa, Florencia Missart y Edgardo Arévalo
 ciarlo@agro.uba.ar

4

IMPORTANCIA DEL ZINC (ZN) EN EL MAÍZ

La deficiencia de Zn en maíz ha comenzado a observarse desde hace algunos años en el área pampeana y, por sus características se la puede definir como deficiencia de oportunidad (Ratto y Míguez, 2006). Esa deficiencia puede ser inducida por las prácticas que tiendan a elevar los rendimientos de los cultivos, como puede ser la fertilización nitrogenada. Los síntomas de deficiencia pueden durar desde pocos días a un par de semanas, para luego desaparecer por completo; sólo en algunas situaciones, en lotes de suelos arenosos, se han detectado sintomatologías que persisten hasta la floración. Las condiciones predisponentes para la aparición de síntomas de deficiencia parecen ser: siembras tempranas en primavera con suelos fríos, siembra directa con elevada cobertura de rastrojo y elevada fertilización fosfatada en banda cerca de la semilla.

METODOLOGÍA

Se condujeron ensayos en tres sitios de localidades del partido de Lincoln, con suelos de una adecuada aptitud agrícola, característicos de la Región conocida como Pampa Arenosa.

Una vez ubicado los lotes se procedió a seleccionar dentro de los mismos, áreas homogéneas donde ubicar los ensayos. Luego de marcado se procedió a la siembra del cultivo de maíz, asignándose aleatoriamente las parcelas a los siguientes tratamientos:

1. Fertilización de base N-P, más tratamiento de semilla con 200 cc/100 kg de semilla de un formulado líquido de Zn (75% p/v o 750 g/L).
2. Fertilización de base N-P, más aplicación foliar de un formulado de Zn (400 cc/ha) y un formulado multinutrientes (2 kg/ha) en estadio V6 (25%N, 10 % P₂O₅, 17.5 % K₂O y micronutrientes).
3. Fertilización de base N-P, y tratamientos combinados de 1 y 2, en la semilla y aplicación foliar en V6.
4. Testigo. Fertilización de base N-P

Las aplicaciones foliares en V6 se realizaron el 20 de noviembre en los sitios El Triunfo y Pasteur y el 28 de noviembre en Roberts.

	Híbrido	Siembra	Población	Fertilización con N	P ₂ O ₅	Antecesor	Zn Suelo
El triunfo	AX 895 TDM _{ax}	09-oct	79	11 S +69 V6	52	Cebada-Soja 2da	1,8 ppm
Pasterur	DK 747 MG RR2	11-oct	82	8 S + 110 V6	36	Trigo	1,2 ppm
Roberts	P31R31 MG RR	16-oct	100	64 PS +18 S	46	Pastura base alfalfa	0,5 pm



RESULTADOS

•Biomasa a la floración

Luego de veinte días de la aplicación foliar y en plena floración femenina (R1) se realizaron en cada localidad determinaciones de biomasa vegetal total y muestreos de tejido vegetal. Los resultados de las mediciones de biomasa, promediando los tres sitios son los siguientes:

Los tratamientos que incluían aportes de Zn a la semilla presentaron la mayor producción de biomasa. Pero hubo diferencias de respuesta entre los sitios (interacción significativa, $p=0,03$), siendo las diferencias entre tratamientos más marcadas en los sitios El Triunfo y Roberts. Las diferencias entre los sitios ($p<0,001$) se deben a los distintos ambientes agroecológicos y condiciones de manejo.

•Rendimiento y sus componentes

A la madurez fisiológica se realizaron en cada localidad determinaciones del rendimiento en grano y sus componentes, a saber: número de granos por espiga y peso de mil granos, además del rinde de la parcela, que se corrigió por humedad estandarizando al 14%. Lamentablemente, por una sequía muy severa, el ensayo de Roberts se perdió, por lo que los resultados sólo incluyen los de El Triunfo y Pasteur.

•El Triunfo

Los rendimientos promedio oscilaron entre 7690 kg/ha para el testigo y 9866 kg/ha para el tratamiento con aplicación de Zn en la semilla (T1), una diferencia de más de 2 t/ha con el testigo (+26%), mientras que el T3 aumento casi 1 t/ha respecto de aquel (+12%). No obstante el tratamiento con aplicación foliar solamente rindió casi igual al testigo. Las diferencias entre tratamientos se relacionaron con el número de granos /m² antes que el peso de mil granos, que fue similar entre tratamientos.

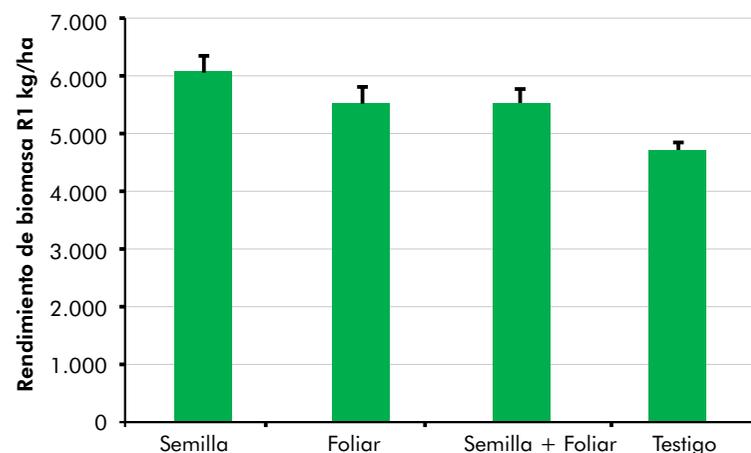
•Pasteur

Los rendimientos promedio oscilaron entre 9169 kg/ha para el tratamiento que combinó aplicaciones foliares y de semilla (T3) y 10752 kg/ha para el tratamiento T2, solo aplicación foliar. Las diferencias entre los tratamientos no fueron estadísticamente significativas. La diferencia con respecto al testigo fue de casi 1 t/ha para el tratamiento sólo con Zn en la semilla (T1) (+10%) y de algo más de 1,2 t/ha para el que sólo tuvo aplicación foliar (T2, + 13%), en tanto que el que combinó las dos aplicaciones

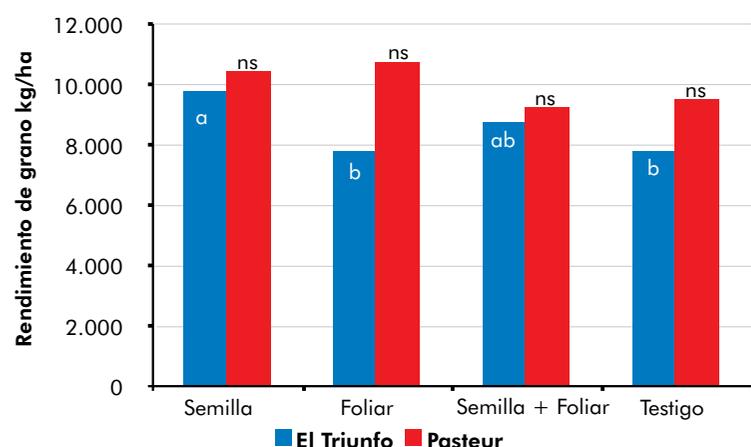
no tuvo respuesta. Similarmente al otro sitio, las diferencias de rendimiento se relacionaron al número de granos /m² y no al peso de mil granos.

CONCLUSIONES

La aplicación de Zn al maíz tuvo respuesta principalmente a través de la aplicación en la semilla, sola o en combinación con la fertilización foliar, con respuestas entre 1 y 2 t/ha por sobre el testigo.



»Las barras corresponden al error estándar de la media.



»Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

Ricardo Melgar, Enrique Figueroa,
Gabriel Kuriger y Diego Saba
rjrmelgar@gmail.com

FERTILIZANTES ARRANCADORES LÍQUIDOS EN MAÍZ

INTRODUCCIÓN

Si bien el uso de UAN y otras soluciones NS ha tenido un amplio desarrollo local, la creciente disponibilidad de fuentes líquidas de fósforo, o soluciones que lo contienen, puede ofrecer importantes ventajas y no pocos desafíos a la cadena de valor y producción, desde la industria, distribuidores, hasta los contratistas y productores agrícolas, pasando por los proveedores de soluciones logísticas y fabricantes de maquinaria. Existen ya al menos cinco empresas proveedoras de soluciones NP o NPS a partir de ácido fosfórico, solubilización de fosfatos o importación directa de formulaciones de polifosfatos.

Las soluciones NP o NPS/NPK usadas como arrancadores deberían tener ventajas comparativas por sobre las formulaciones sólidas, sean complejos o mezclas físicas, para que sean rápidamente adoptadas por los productores o consumidores finales, así también como desventajas menores. Muchas de estas ventajas son conocidas por los operadores a través de su experiencia en el manejo de las soluciones N y NS, (cuadro) pero algunas son más específicas de los arrancadores, es decir, aquellos que se aplican con la siembra.

Estos fertilizantes arrancadores, son productos aplicados en dosis bajas cerca de la semilla durante la siembra para estimular el crecimiento vegetal temprano y desarrollo inicial con la intención de aumentar el rendimiento en última instancia. Así, los fertilizantes líquidos aplicados a la siembra en la cantidad necesaria para proveer ese efecto de "arranque", deberían complementarse con nutrientes aplicados más adelante, principalmente nitrógeno, pero también fósforo cuando el nivel en el suelo está por debajo de la suficiencia. A la siembra, el ahorro de tiempo permite que los equipos de aplicación circulen por más tiempo aplicando fertilizante y con menor tiempo ocioso durante la recarga. Cuando se siembra y se aplica fertilizante a la vez, la reducción del tiempo de manipulación del fertilizante favorece la rapidez de la siembra. Muchos productores y contratistas prefieren una siembra temprana, permitiendo mayores rendimientos. El ahorro de tiempo durante la siembra permite al contratista hacer mayores superficies durante el mismo período que si usara fertilizantes sólidos.

El uso de arrancadores plantea un cambio de estrategias en el manejo de nutrientes, sean líquidos o sólidos. No hay ninguna necesidad específica de aplicar a la siembra todos los nutrientes que se necesitan en los cultivos de una rotación. La baja movilidad del P por ejemplo, permite flexibilidad para no manejar volúmenes elevados de productos a la

siembra. Por ejemplo, un cultivo de maíz que rinda 100 q/ha extraerá y exportará del campo 38, 48 y 10 kg / ha de P, K y S respectivamente (Heckman et al , 2003) , el desafío es aplicar tanto como se pueda para cubrir este requerimiento a la siembra sin derrochar ni ofrecer fitotoxicidad potencial.

Una de las principales preocupaciones de los productores en el uso de arrancadores es la posibilidad de quemado por fitotoxicidad debido a la proximidad de las líneas de semillas con la de fertilizante. Si bien esta preocupación es compartida con los sólidos, en general tiene más que ver con las concentraciones de N - amoniacal/ureico y potasio que con el fósforo y su forma química (ion ortofosfato o polifosfato).

El nitrógeno y el fósforo son los principales nutrientes usados en los arrancadores y considerados los contribuyentes vitales para el logro de mayores rendimientos, no obstante tanto el potasio como el azufre o micronutrientes se incluyen habitualmente en los arrancadores sean sólidos o líquidos.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto sobre el rendimiento de maíz y determinar el mejor grado y dosis de un fluido NPS o NPK como arrancador aplicado a lo largo de la banda de siembra en dos regiones

VENTAJAS DE LOS FERTILIZANTES LÍQUIDOS

- Facilidad de manejo y transferencia desde tanques a nodrizas o aplicadores
- Dosificación precisa, las dosis efectivas no varían como con los sólidos durante su aplicación en el campo
- Uniformidad de aplicación
- Menor inversión de capital para el distribuidor de fertilizantes minorista
- Aumento en la capacidad operativa de los equipos de siembra
- Reducción de costos operativos
- Múltiples posibilidades de aplicación
- Compatibilidad con agroquímicos
- Seguridad en el manejo
- Fórmula estable y exacta, sin segregación como en las mezclas físicas

Tabla 1. Características agronómicas y de fertilidad de suelo de cada sitio-año de experimentación.

Localidad	Textura	pH	MO	P-Bray 1	S-SO4	K	Mg	Siembra	Hibrido
	Superficial	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	...	cmolc kg ⁻¹ ...				
Pergamino									
2011-12	Franco Limoso	5.7	37.5	14.6	7.8	1.25	1.44	Nov-15	NK 900
2012-13		5.5	35.3	44.7	17.5	1.29	2.00	Dic-13	Arvales 2310 MG
Mercedes									
2011-12	Franco arenoso	5.8	24.2	10.0	8.0	0.12	1.98	Dic-22	DK 390 HX RR
2012-13		5.5	17.8	10.7	4.9	0.14	1.20	Ago-30	M510 HX RR2

Tabla 2. Combinación de nutrientes en los experimentos de Pergamino (A) y de Mercedes (B).

Arrancador			Nutrientes c/arrancador			Urea			Relación	
A.Tratamientos	Relación TSA:APP	Dosis	N	P ₂ O ₅	S	Siembra	V-6	N Total	P ₂ O ₅ :N	S:N
kg ha⁻¹										
Testigo	-	0	-	-	-	36	312	160	-	-
Granular A	-	65	3	18	6	33	309	160	0.8	0.3
Fluido 1	1:1	120	22	22	7	-	300	160	1.0	0.3
Fluido 2	1:1	180	33	33	11	-	275	160	1.0	0.3
Granular B	-	75	7	26	4	21	307	160	1.3	0.2
Fluido 1	1:2	120	19	29	5	-	307	160	1.5	0.3
Fluido 2	1:2	180	29	44	7	-	286	160	1.5	0.3

Arrancador			Nutrientes c/arrancador				Urea			Relación	
B.Tratamientos	RelaciónUAN:APP:TSK	Dosis	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Siembra	V-6	N Total	P ₂ O ₅ :N	K ₂ O:N
kg ha⁻¹											
Testigo	-	0	-	-	-	-	43	218	120	-	-
Granular A	-	100	2	18	12	8	43	215	120	0.9	0.6
Fluido 1	1:1:1	150	21	18	12	8	0	215	120	0.9	0.6
Fluido 2	1:1:1	250	35	31	21	14	29	184	120	0.9	0.6
Granular B	-	110	7	29	10	7	0	217	120	1.4	0.5
Fluido 1	1:2:1	150	20	28	9	6	0	217	120	1.4	0.5
Fluido 2	1:2:1	250	34	46	16	11	0	188	120	1.4	0.5

Figura 1. Efecto de los diferentes fertilizantes de base a la siembra sobre los rendimientos de maíz promedios de tratamientos en los distintos sitios y campañas. (P2O5 se indica como P).

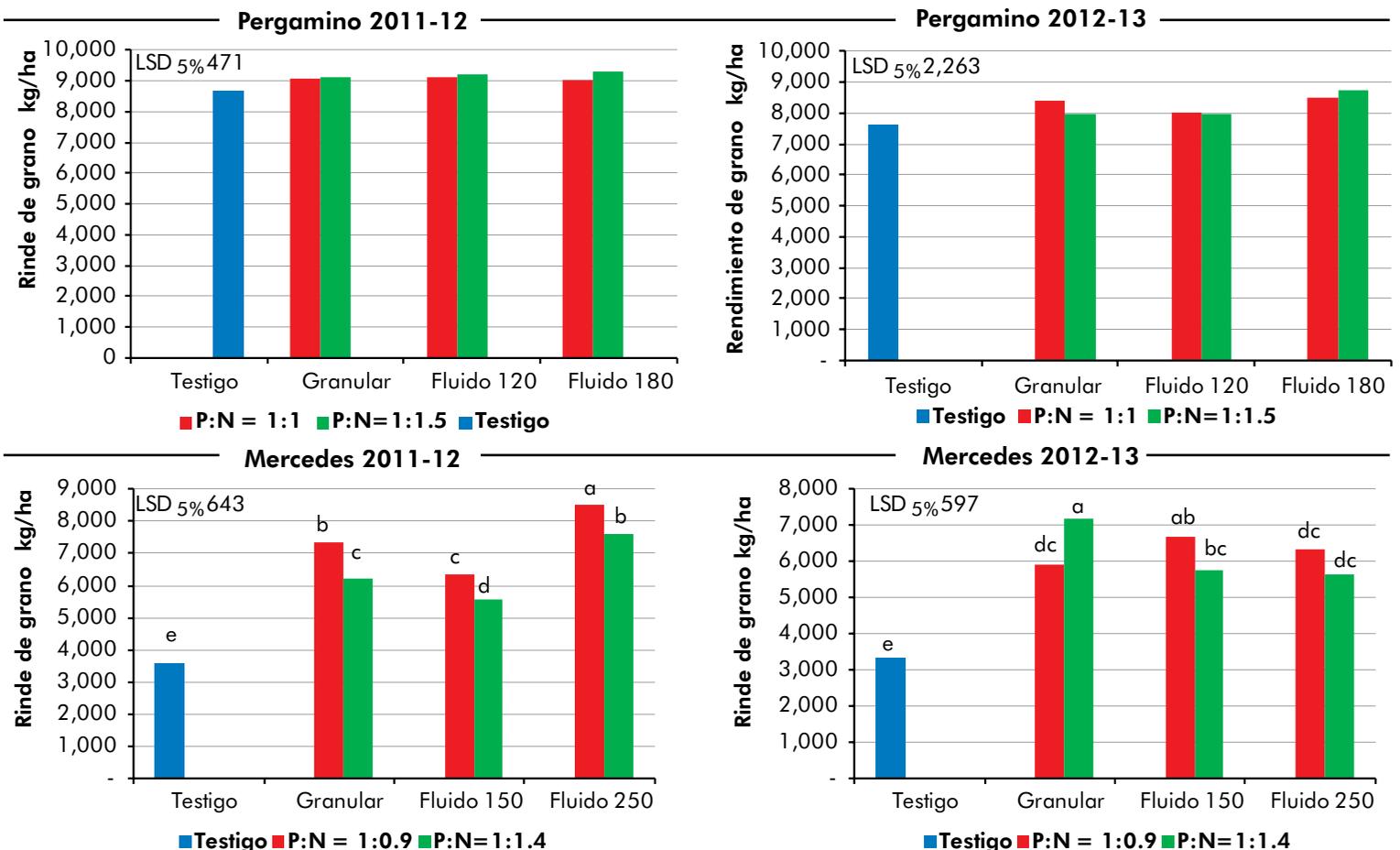
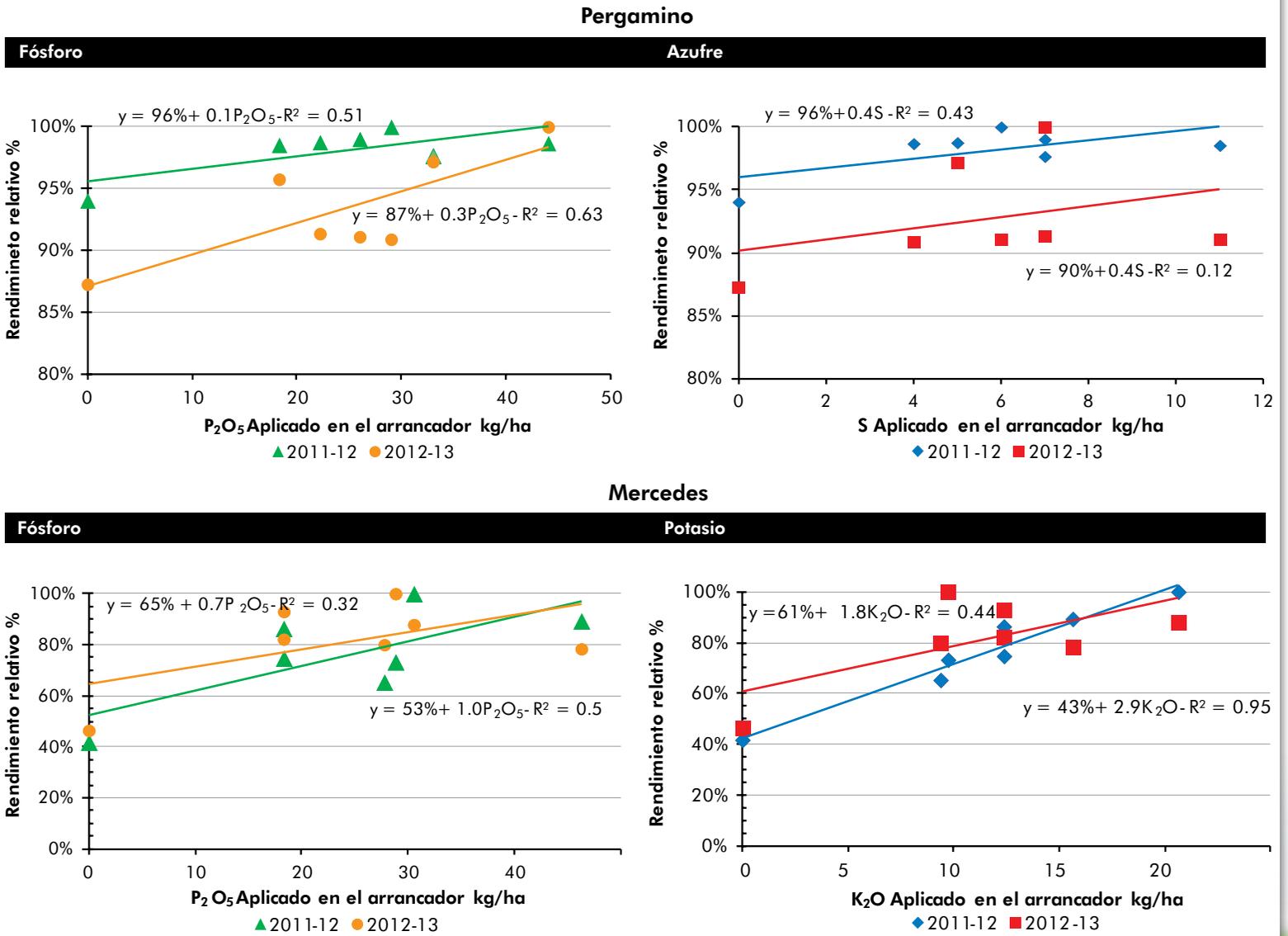


Figura 2. Respuesta al fósforo y azufre en los ensayos Pergamino (A) y al fósforo y al potasio en Mercedes (B)



8

Tabla 3. Cantidades aplicadas y exportadas de fósforo y azufre en los ensayos de Pergamino (A), y de fósforo y potasio, en Mercedes (B), comparadas con la media de rendimientos relativos obtenidos en los dos años.

A. Tratamientos		Aplicado	Remoción		Rinde	Relación Aplicado/Removido	
Fertilizante/dosis	P ₂ O ₅ :N relación	P ₂ O ₅ -S	P ₂ O ₅	S	Relativo	P ₂ O ₅	S
		kg ha ⁻¹			%		
Granular 1	1:1	18 - 6	33.2	8.7	91%	53%	65%
Fluid 1	1:1	22 - 7	32.5	8.6	97%	69%	85%
Fluid 2	1:1	33 - 11	32.3	8.5	95%	104%	128%
Granular 2	1:1.5	26 - 4	32.5	8.5	94%	79%	49%
Fluid 1	1:1.5	29 - 5	33.7	8.9	95%	87%	54%
Fluid 2	1:1.5	44 - 7	33.9	8.9	99%	130%	80%
B. Tratamientos		Aplicado	Remoción		Rinde	Relación Aplicado/Removido	
Fertilizante/dosis	P ₂ O ₅ :N relación	P ₂ O ₅ -K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	Relativo	P ₂ O ₅	K ₂ O
		kg ha ⁻¹			%		
Granular 1	1:0.9	18 - 12	25	32	84%	74%	39%
Fluid 1	1:0.9	18 - 12	25	31	84%	74%	40%
Fluid 2	1:0.9	31 - 21	28	36	94%	111%	58%
Granular 2	1:1.4	29 - 10	26	32	87%	113%	30%
Fluid 1	1:1.4	28 - 9	22	27	73%	129%	35%
Fluid 2	1:1.4	46 - 16	25	32	84%	188%	49%

del país, con deficiencia de azufre (S) y de potasio (K) respectivamente

Se procura lograr una proporción de mezcla sencilla de fuentes líquidas comerciales comunes que puedan ser fácilmente adoptadas por distribuidores y productores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se condujeron en Mercedes (Corrientes) y en Pergamino (Buenos Aires) durante dos campañas (2011-12, y 2012-13). Los suelos de Pergamino son franco limosos ligeramente ácidos con contenido medio de materia orgánica y muy bien provistos de potasio y cationes. Por otra parte el suelo de Mercedes es un franco arenoso también con contenido medio de materia orgánica pero con niveles mucho más bajos de potasio (Tabla 1).

El experimento fue un factorial de dos dosis y dos grados de mezclas de fertilizante fluido y una única dosis de fertilizante mezcla sólida además de un testigo sin arrancador y solo con N (Tabla 2).

En Pergamino (Tabla 2.A) la mezcla fluida NPS se hizo con polifosfato de amonio (APP, 11-37-0, 1.42 kg dm⁻³), UAN, (32-0-0, 1.32 kg dm⁻³) y tiosulfato de amonio (ATS, 26-0-0-12S, 1.32 kg dm⁻³) con una relación 1:1 y 2:1 APP-TSA. La mezcla física seca usada fue superfosfato simple (0-20-0-12S) y fosfato diamónico (18-46-0) para preparar un grado cercano al suministrado con la misma cantidad y relación de nutrientes del tratamiento con el fluido.

El experimento incluyó un control sin fertilizante aparte de N, totalizando siete tratamientos. Todas las parcelas recibieron suficiente N como UAN entre las etapas V6 y V8 para estandarizar todos los tratamientos en 160 kg de N/ha, compensando de este modo el N suministrado a la siembra por los diferentes tratamientos. Por el contrario, el tratamiento testigo recibió parte del N a la siembra para compensar el N suministrado a los cultivos por los otros tratamientos.

El sitio en Mercedes tuvo el mismo arreglo de tratamientos, excepto que las mezclas incluyen K (Tabla 2.B). Los líquidos se prepararon mezclando diferentes proporciones de APP, UAN y tiosulfato de potasio (0-0-25-17S, 1.46 kg dm⁻³). La mezcla granular empleó superfosfato simple (0-20-0-12S), urea (46-0-0) y cloruro de potasio (0-0-60) para preparar los grados mostrados en la tabla 3. El aporte de N se igualó en 120 kg de N/ha, más bajo que en Pergamino por el menor potencial de rendimiento de este ambiente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los diferentes tratamientos de fertilización afectaron los rendimientos de maíz respondiendo de manera significativa a la fertilización de base en tres de los cuatro sitios, como se indica por el contraste entre el control y los otros tratamientos. La figura 1 muestra el rendimiento de grano para cada año y sitio de experimentación.

Figura 1. Efecto de los diferentes fertilizantes de base a la siembra sobre los rendimientos de maíz promedios de tratamientos en los distintos sitios y campañas. (P₂O₅ se indica como P).

En general, las otras diferencias debidas a las fuentes o a las dosis fueron pequeñas y de poca consistencia. Incluso el efecto de las fuentes no es uniforme a diferentes relaciones de P y N. Dentro de este panorama, la falta de diferencias entre las fuentes granulares y líquidas a la misma dosis aproximada de nutrientes es razonable y coherente.

Aunque fuertemente influida por el tratamiento que no recibió fertilizante a la siembra, hubo respuestas lineales a P, K y S en los experimentos. Las figuras 2.A y 2.B muestran la relación entre los rendimientos relativos y las cantidades de nutrientes aplicados con la fertilización de base, independientemente del origen o de la relación P₂O₅: N ratio en Pergamino y Mercedes respectivamente.

En los suelos de alta fertilidad de P, como en Pergamino, la respuesta al P es más bien baja, independientemente de la dosis de P, fuente, o relación P₂O₅: N aplicada. El nivel de P disponible (Bray 1) es mediano a alto en los sitios elegidos de la primera y segunda campaña, (15 y 45 ppm), sin embargo, la respuesta al P aplicado es mayor en el mejor suelo dotado (Figura 2.A, izquierda).

Lo mismo se observa en la respuesta al S (Figura 2.A, derecha), indicada por la ganancia en rendimiento por cada unidad de S. El aumento fue similar en las dos campañas a pesar de las diferencias en S-SO₄ del suelo (8 y 18 ppm), aunque no hubo diferencias entre los dos años en

términos de rendimiento relativo inicial.

Por otro lado, un entorno de baja fertilidad como en el sitio Mercedes, la respuesta al P aparenta ser mucho mayor que en Pergamino, para los dos años, muy probablemente debido al menor contenido de P en el suelo (alrededor de 10 ppm) (Figura 2. B izquierda). Cada kg de P₂O₅ adicional aplicado en Mercedes representa aproximadamente un 0,8 % de aumento del rendimiento, mientras que en Pergamino este aumento es bastante menor, entre 0,1 y 0,3 %. Del mismo modo, las respuestas al K son claramente lineales en los dos años, con un rango de 1.8 a 2.9 % de aumento de rendimiento por cada kg de K₂O aplicado en el arrancador como resultado de un nivel de K en el suelo por debajo de la suficiencia (Figura 2. B derecha).

Una preocupación muy importante con respecto a la sostenibilidad de las prácticas agronómicas en todas partes es el mantenimiento de la fertilidad del suelo a través del tiempo con resultados económicos positivos. Sobre todo en nuestras condiciones, donde la mayor parte del P se aplica a la siembra, siendo la práctica más común aplicar cantidades que no son suficientes para cubrir la exportación de nutrientes con la cosecha. Por lo tanto, es de importancia estratégica que las dosis y concentraciones de P, S y K del arrancador suministren lo más aproximado posible cantidades compatibles con las exportadas, mientras que a la vez se mantienen los costos a niveles razonables con la rentabilidad esperada.

La tabla 3.A y 3.B muestran la exportación de nutrientes asumiendo las concentraciones de estos en el grano indicados por Heckman et al., (2003) y tomando los rendimientos reales de los experimentos, promedio de las dos campañas en cada localidad. En Pergamino, (Tabla 3.A) sólo las tasas más altas mostraron saldos positivos de P, como lo indica la relación P aplicado/exportado mayor a 100%, mientras que en Mercedes sólo las tasas más bajas tuvieron balances negativos de este nutriente (Tabla 3.B). Este sitio recibió notablemente menos potasio que el necesario, e indicaría la necesidad de modificar las relaciones de suministrar algo menos de P y más de K en los fertilizantes arrancadores si no se pretende realizar otras aplicaciones complementarias.

Sin embargo, dadas las pequeñas diferencias entre los rendimientos relativos de tratamiento, menos de 10%, el costo de los nutrientes que lo haría y el más cercano al saldo positivo indicaría el grado más conveniente y una tarifa.

Sin embargo, dadas las pequeñas diferencias entre tratamientos para los rendimientos relativos, menor al 10%, el costo de los nutrientes el balance más cerca del neutro o positivo indicaría el grado y dosis más conveniente.

Tabla 3. Cantidades aplicadas y exportadas de fósforo y azufre en los ensayos de Pergamino (A), y de fósforo y potasio, en Mercedes (B), comparadas con la media de rendimientos relativos obtenidos en los dos años.

CONSIDERACIONES FINALES

No hubo una respuesta significativa a la fertilización de base en tres de los cuatro experimentos, indicado por el contraste entre el control y los tratamientos fertilizados con arrancadores.

Las fuentes de fluidos no fueron diferentes a las granulares a la misma dosis y relación P: N.

Solo en un ensayo se observó que la relación P: N de 1:1 era mejor que la proporción de 1:1,5 a la misma dosis de nutrientes. Sólo en un ensayo el efecto de la frecuencia de arranque fue significativa, y solo en un ensayo, la fuente granular fue superior a la líquida a la misma dosis y relación P: N.

Todos los grados evaluados fueron capaces de suministrar suficiente P o S para lograr una adecuada proporción de reemplazo de **aplicado vs. exportado**, pero no para K.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro reconocimiento a la Fluid Fertilizer Foundation (FFF) y a INTA por el apoyo financiero a este trabajo. Asimismo, expresamos nuestra gratitud a Bunge SA por el suministro de fertilizantes líquidos y granulares para los experimentos. El invaluable consejo del Dr. Larry Murphy y Dale Leikam de esta Fundación es significativamente apreciado.

Respuesta a la fertilización EN DIFERENTES GRUPOS DE MADUREZ DE SOJA en campañas climáticamente contrastantes

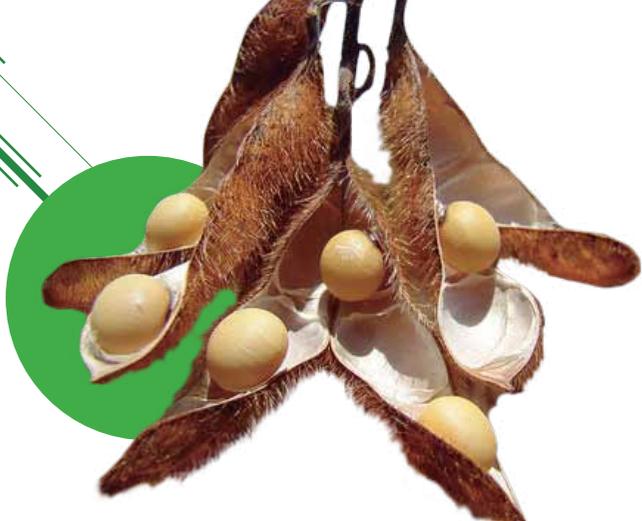
Las relaciones de **precio fertilizante: soja** han mostrado constantes variaciones durante los últimos tiempos, modificando en consecuencia los umbrales críticos y afectando las decisiones de fertilización. Por este motivo, es necesario validar y actualizar los criterios de recomendación teniendo en cuenta parámetros de suelo y los adelantos permanentes en la tecnología de producción.

Tradicionalmente, se asocia la respuesta a la fertilización de la soja con el nivel de fósforo disponible, el contenido de materia orgánica o el de azufre extractable. Sin embargo, pocas veces se asocia la respuesta a la fertilización al escenario climático, a la calidad del ambiente medido por sus atributos físicos y biológicos del suelo que conforman el potencial de rendimiento del lote. Tampoco se ha estudiado en detalle la interacción entre la respuesta a la fertilización con algunos aspectos del manejo del cultivo, tales como el grupo de madurez (GM), el distanciamiento entre hileras o la fecha de siembra. Generar este conocimiento es relevante dado que por razones económicas y ambientales la fertilización debería ser dirigida a aquellos ambientes y situaciones productivas con mayor probabilidad de respuesta.

La respuesta a la fertilización de la soja con fósforo, azufre y micronutrientes difiere entre años favorables y desfavorables, así también como entre distintos grupos de madurez, lo que limita la posibilidad de establecer recomendaciones generales. Por esto se diseñó este ensayo, que se condujo durante tres años, cuyo objetivo fue evaluar las diferentes respuestas a la fertilización de soja según el año y las variedades de cada grupo de madurez utilizado.

Gustavo N. Ferraris y Lucrecia A.
Couretot INTA Pergamino
nferraris@pergamino.inta.gov.ar





MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron tres ensayos en la estación experimental del INTA en Pergamino desde 2010 al 2013. La combinación de factores de clima, suelo y manejo fue muy diferente en los tres escenarios sitio-año (Tabla 1) a pesar de sembrarse casi el mismo día en los tres años (22 al 25 de noviembre), la distribución de períodos de excesos y escaseces hídricas fue variable (Figura 1). El espaciamiento entre hileras y la población final fue diferente también entre los años (32, 40 y 52 cm y 42, 37 y 40 pl/ha respectivamente desde 2010 al 2013).

Los tratamientos fueron cinco grupos de madurez: 1) III Corto, 2) III Largo, 3) IV Corto, 4) IV Largo y 5) V Corto. Todos ellos, repetidos en tres bloques, recibieron cinco tratamientos fertilizantes: 1) 20 kg de P₂O₅ /ha como superfosfato triple, 2) 18 kg de S /ha como yeso, 3) los dos anteriores combinados, 4) los dos anteriores combinados más 0.7 y 0.1 kg de Zn y B respectivamente por hectárea. Además se incluyó un testigo sin fertilización (5) en cada bloque.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones ambientales fueron diferentes entre campañas. Las dos primeras se desarrollaron en un contexto ajustado de humedad. En el primer año el período de mayor sequía fue menos pronunciado y anticipado a diciembre, permitiendo una mejor recuperación del cultivo (Figura 1). En la campaña 2011/12, las precipitaciones fueron abundantes, con un déficit durante el mes de enero, y en la última (2012/13) también fueron de abundantes lluvias pero sin déficit hídrico durante el ciclo.

Como resultado de tan diferentes escenarios climáticos, los rendimientos fueron significativamente diferentes. Así, el primer año mostró los rendimientos más elevados, ya que el déficit estuvo limitado a la etapa vegetativa inicial, mientras que el déficit del 2do año fue en etapas reproductivas impactando más severamente en los rindes de grano. El 3er año, pese a no haber déficit hídrico, el volumen de precipitaciones fue menor al del 1er año, resultando en un rinde menor al logrado en este.

En cada ensayo de cada año hubo diferencias significativas de rendimientos por la fertilización y entre los grupos de madurez. En dos de los tres ensayos (2do y 3ro) la respuesta a la fertilización fue indiferente al grupo de madurez (Figura 3). Teniendo en cuenta los resultados de este grupo de experimentos, se podrían diseñar estrategias comunes de recomendación de fertilización para distintos grupos y variedades.

La figura 4 muestra los resultados promedio de años y tratamientos de fertilización de los distintos grupos de madurez. Las variedades del grupo IIIc tuvieron baja performance, tanto en años climáticamente favorable como desfavorables, evidenciando menor adaptación y estabilidad. Se destacan por su superioridad

Tabla 1. Análisis de suelo al momento de la siembra para las localidades de ensayo (0-20 cm).

Año	pH	MO	Fósforo	Azufre	Zinc	Boro
2010	5,5	3,7	20	8	0,8	1,5
2011	5,3	2,4	16	13	0,8	0,6
2012	5,7	2,6	8	6	0,5	0,4

las del grupo III L y IV c, mientras que las de los grupos IV L y V c están en un escalón inferior.

En el primer ensayo (2010). La respuesta a la fertilización, considerando el promedio de todos los tratamientos fertilizados contra el testigo fue de 380 kg/ha (Figura 5). El grupo IVc fue el de mayor rendimiento; siguiéndole el III L pero sin diferencias estadísticas entre sí. El grupo de menor rendimiento fue el Vc (Figura 6.a). Ante un ambiente suelo-clima-fecha de siembra favorable, las variedades de los grupos cortos superaron a las de grupos más largos, a lo que se suma que estos últimos registraron un alto grado de vuelco, sometiendo a las plantas a sombreado y enfermedades. La respuesta a la fertilización fue muy contrastante entre los grupos de madurez, donde los grupos IIIc, IVc y Vc presentaron alta respuesta, intermedia en IVL y prácticamente nula en IIIL.

En 2011, la respuesta media a la fertilización fue parecida a la del año anterior, 347 kg/ha pero más uniforme que esta (Figura 7), caracterizada por una alta respuesta al P y a los micronutrientes, pero negativa al S (Figura 8.b). Los resultados de este experimento confirman que P es el elemento más importante para Soja en nuestra región. El grupo de mejor performance fue el III L, sin diferencias significativas con el IVc. Luego siguen los Vc y IVL, también sin diferencias entre sí, y por último el IIIc (Figura 8.a).

Finalmente, en 2012 se obtuvo la mayor respuesta a la fertilización, 1043 kg/ha (Figura 9), con una alta respuesta al P y al S, probablemente por ser un año más húmedo. El grupo de madurez de mayor rendimiento fue el Vc, seguido por IVL y IVc, sin diferencias significativas entre ellos (Figura 10.a).

CONCLUSIONES

La interacción entre grupo de madurez y fertilización fue importante solo el primer año, pero no el segundo ni el tercero. Se propone como tendencia un efecto aditivo de fertilización y grupo de madurez, es decir: la respuesta a la fertilización sería independiente del grupo de madurez. Por otra parte, las respuestas a fertilización variaron según el año.

Las tres campañas evaluadas mostraron una consistente respuesta a P aún con niveles medios en los suelos, y respuestas diferentes al azufre y a los micronutrientes según el año. El tratamiento con micronutrientes no superó los rendimientos con dosis iguales de P y S, pero superó al que solo se aplicó P, además del testigo.

El año, la fertilización y el grupo de madurez afectaron significativamente los rendimientos. El 2010 (nivel medio de fertilidad en suelo, precipitaciones con ligero déficit, espaciamiento a 0,32 cm) fue el año de mayor productividad. Los grupos de maduración IVc y IIIL, para las fechas de siembra de estos experimentos superaron significativamente al resto.

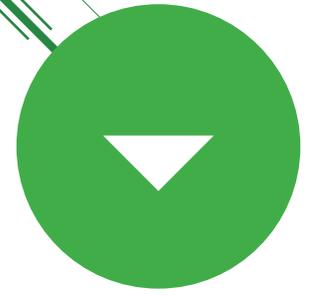


Figura 1.

Precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico cada 10 días. Totales por campaña. **2010/11:** Precipitaciones: 582 mm. Déficit: 91 mm. **b) 2011/12:** Precipitaciones 562 mm. Déficit 157 mm. **c) 2012/13:** Precipitaciones 495 mm. Déficit: 0 mm.

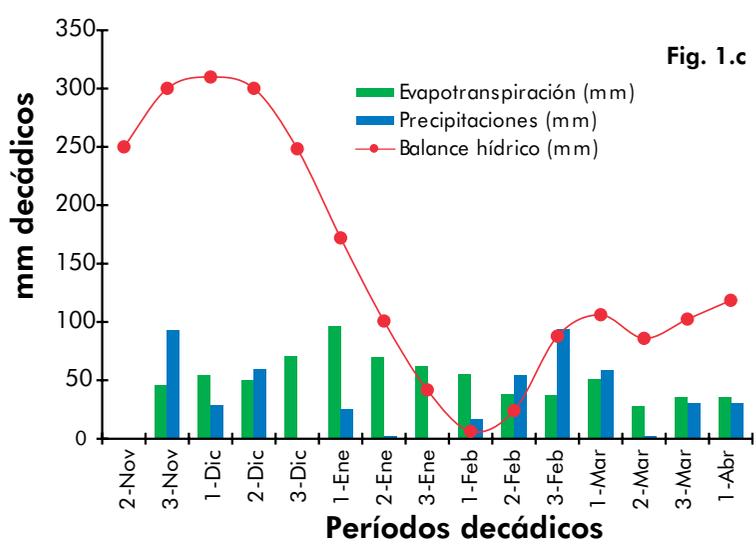
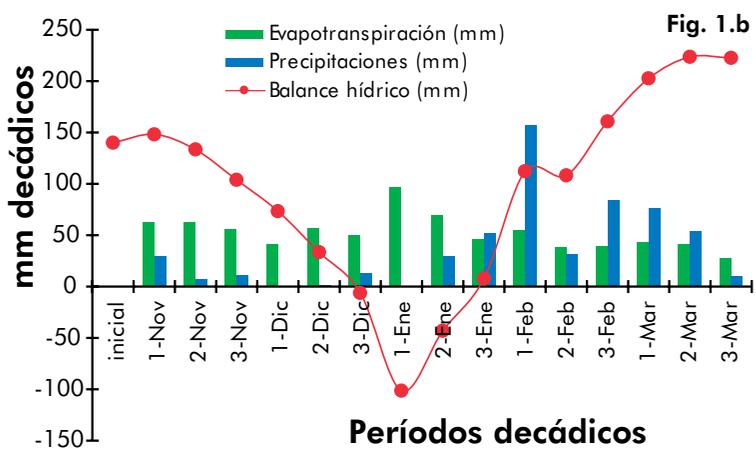
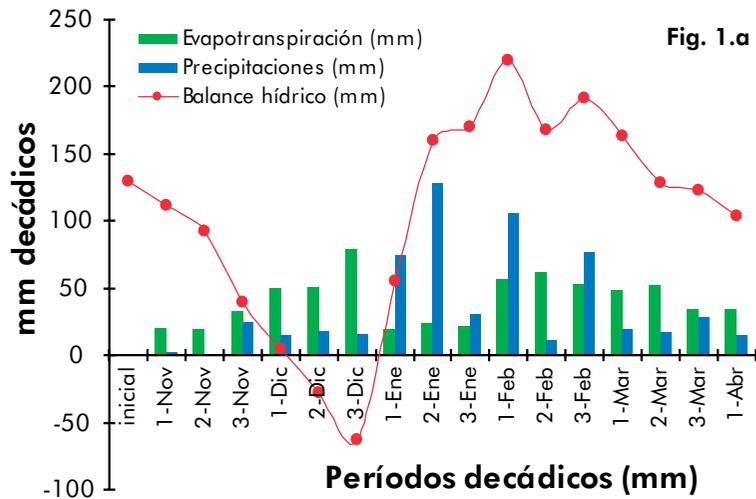


Figura 2.

Rendimientos de grano según año. Cada año representa un efecto de año climático, sitio, nivel inicial de nutrientes y distanciamiento entre hileras. Letras distintas sobre las columnas representan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, y las barras indican la desviación estándar de la media.

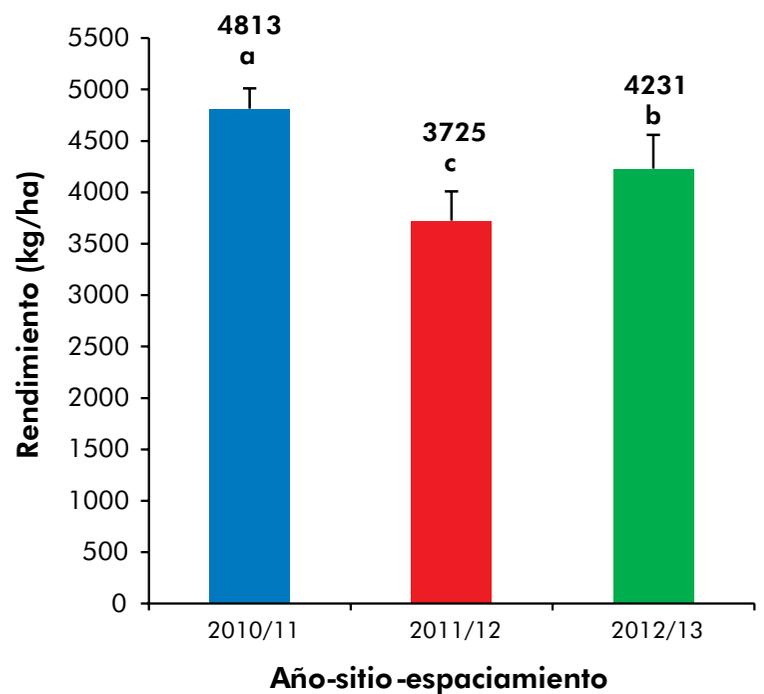


Figura 4.

Rendimientos por grupo de maduración, promedio de tres años y niveles de fertilización. Letras distintas sobre las columnas representan diferencias entre tratamientos y las barras la desviación estándar de la media.

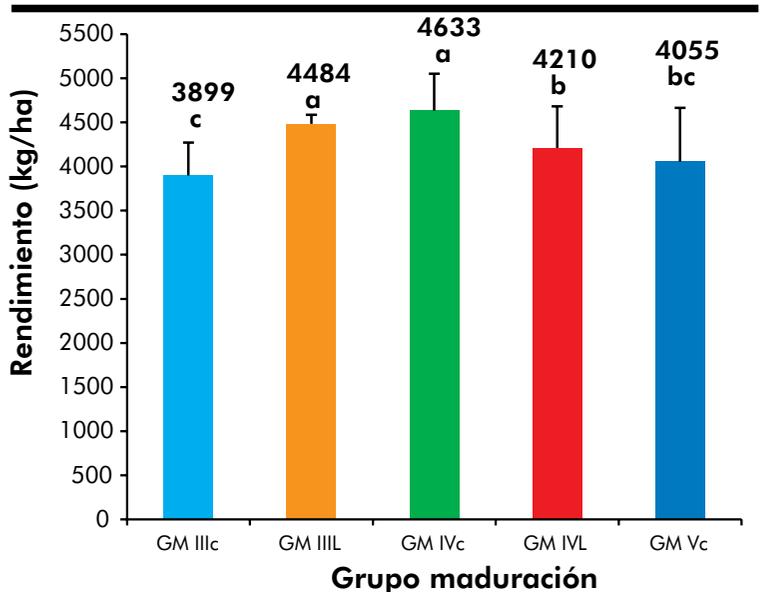


Figura 3.

Rendimientos según la fertilización para cada año promedio de todos los grupos de madurez. Dentro de cada año, letras distintas sobre las columnas representan diferencias entre tratamientos. Las barras de error indican la desviación estándar de la media.

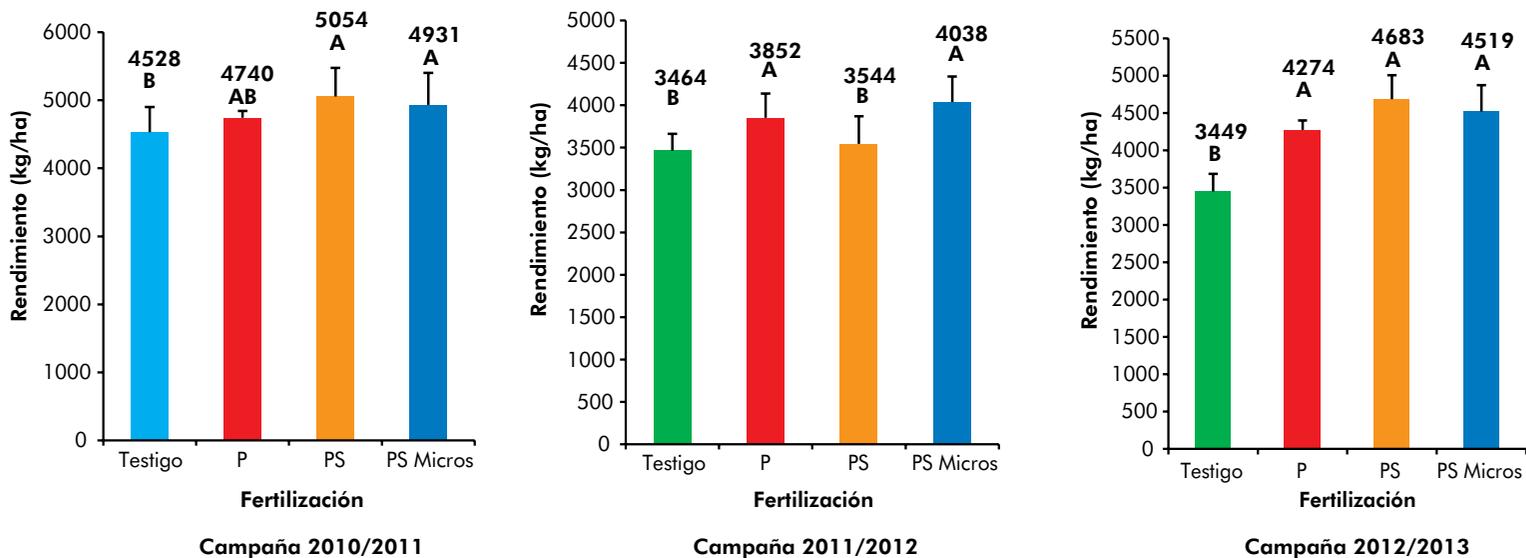


Figura 6.

Rendimientos medios de a) cinco GM y b) cuatro tratamientos de fertilización. Pergamino, campaña 2010/11. Letras distintas representan diferencias significativas entre tratamientos, y las barras la desviación estándar de la media.

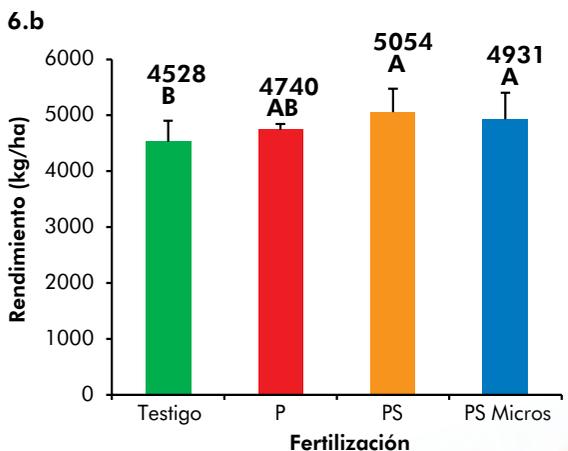
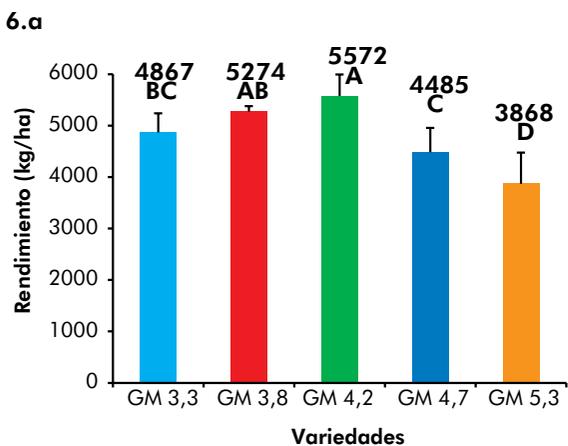


Figura 5.

Rendimientos de la interacción entre grupo de madurez y niveles de fertilización en Soja en la campaña 2010/11. El cuadro sobre la figura muestra la respuesta promedio a la fertilización para cada grupo de madurez y debajo, la respuesta media de todas las variedades.

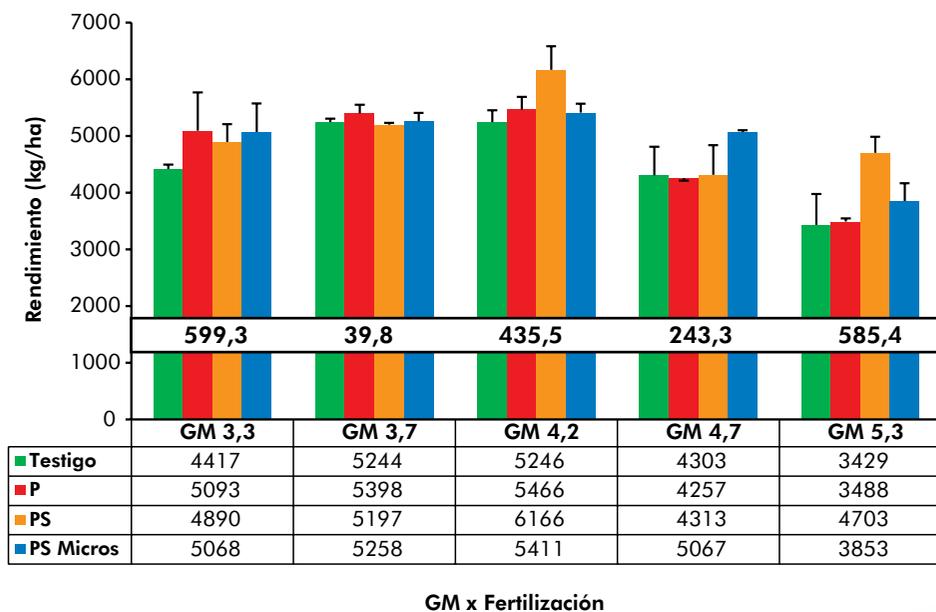


Figura 7.

Rendimientos de la interacción entre grupos de madures y niveles de fertilización en soja en la campaña 2011/12. El cuadro sobre la figura muestra la respuesta media a la fertilización según grupo de madurez, y debajo la respuesta media de todas las variedades.

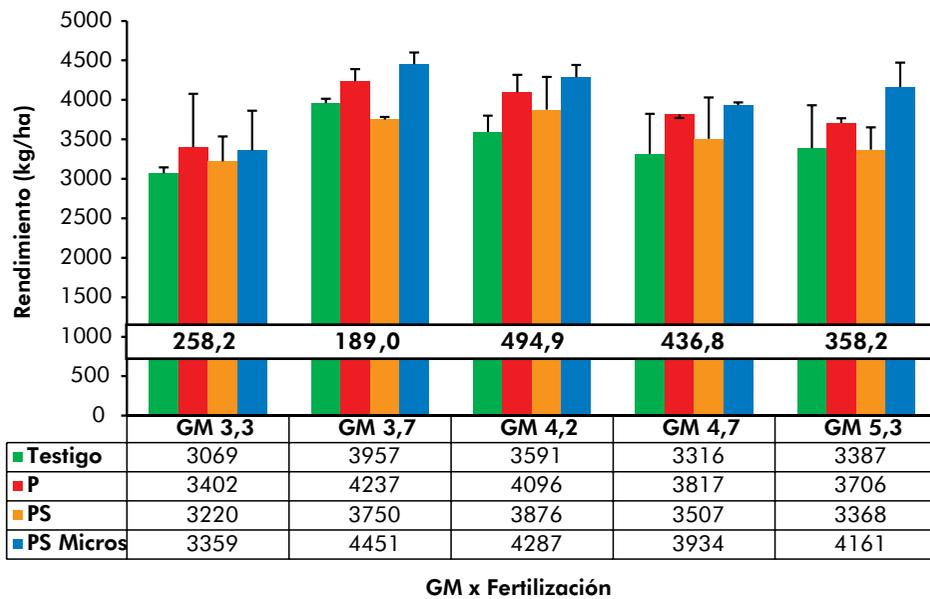


Figura 8.

Rendimientos medios de a) cinco grupos de madurez y b) cuatro tratamientos de fertilización en la campaña 2011/12.

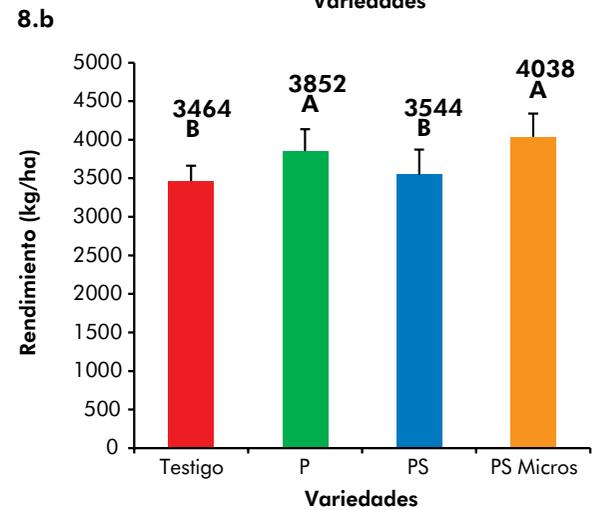
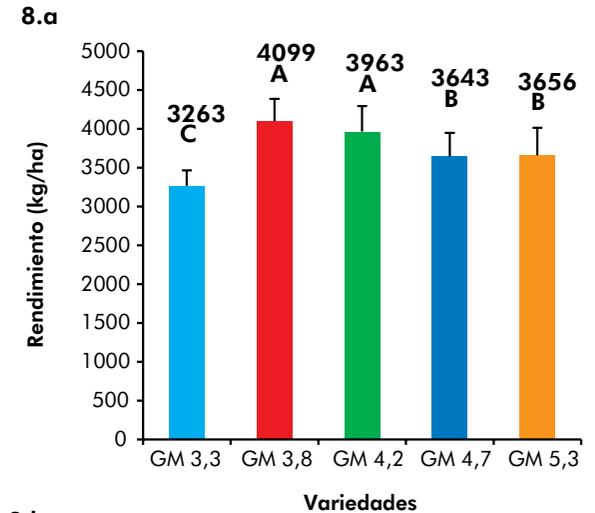
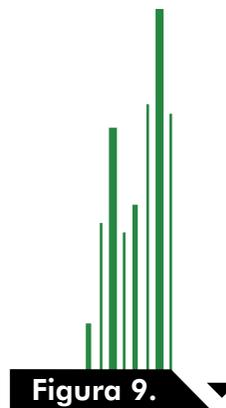
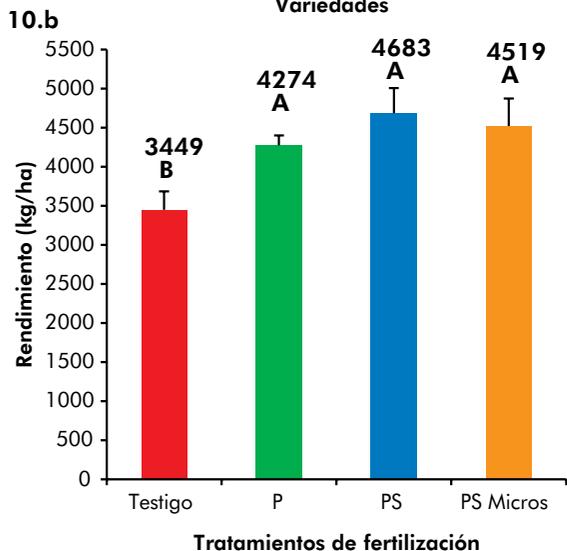
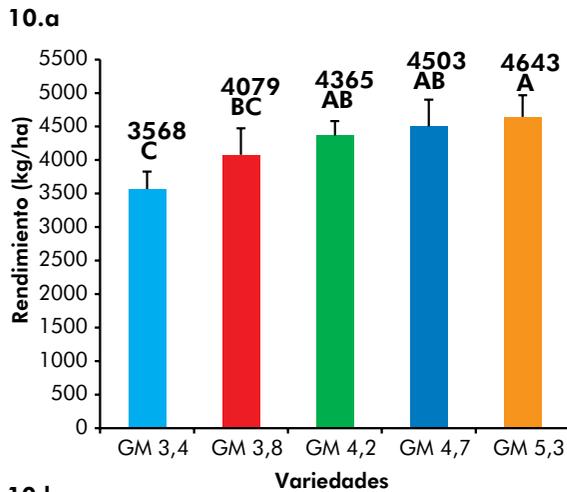
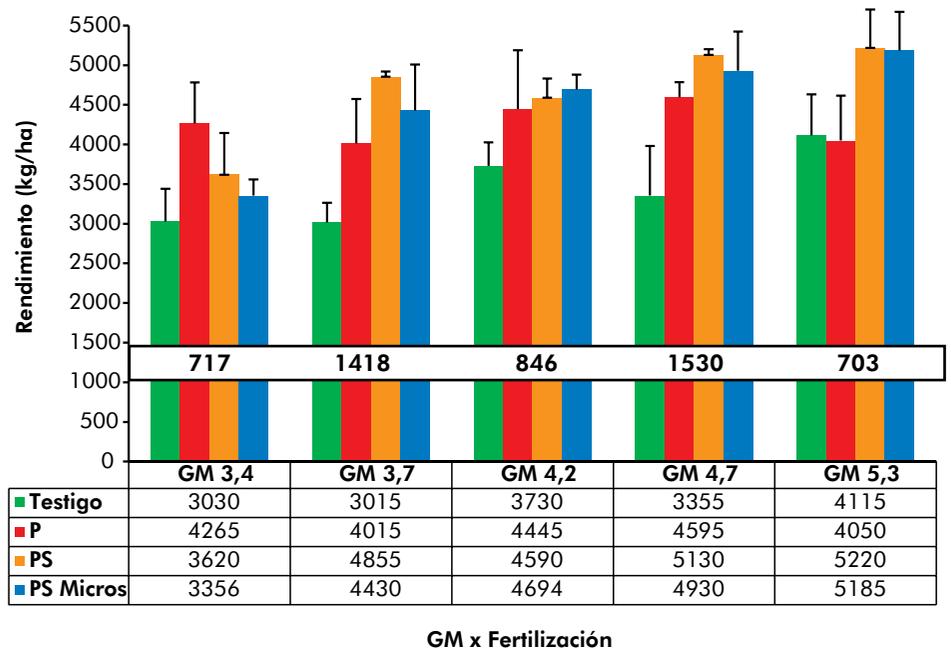


Figura 10.

Rendimientos promedios de a) Grupos de madurez y b) tratamientos de fertilización en la campaña 2012/13.



Rendimientos de soja por grupo de madurez y fertilización en 2012/13. El cuadro sobre la figura muestra la respuesta promedio a la fertilización para todos los grupos y debajo, la respuesta promedio de todas los grupos de madurez.





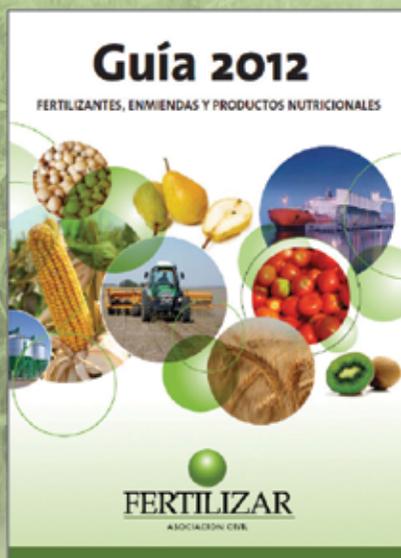
Precio: **\$50** para el público general y **\$40** para socios y suscriptos a la revista de la entidad + gastos de envío



Precio: **\$70** para el público general y **\$50** para socios y suscriptos a la revista de la entidad + gastos de envío



Precio: **\$150** para el público general y **\$110** para socios y suscriptos a la revista de la entidad + gastos de envío



Precio: **\$70** para el público general y **\$50** para socios y suscriptos a la revista de la entidad + gastos de envío



Precio: **\$100** para el público general y **\$80** para socios y suscriptos a la revista de la entidad + gastos de envío



Precio: **\$100** para el público general y **\$80** para socios y suscriptos a la revista de la entidad + gastos de envío

Venta de publicaciones especializadas consulte



FERTILIZAR

ASOCIACION CIVIL

Más información en: www.fertilizar.org.ar o info@fertilizar.org.ar

EL ZINC EN EL MAÍZ

Por Ing. Ricardo Melgar

Todos los agrónomos reconocen al Zn como uno de los micronutrientes más importantes para la producción agrícola. Además de su esencialidad en todos los seres vivos, particularmente en la salud humana, los cultivos no se desarrollan sin este elemento.

La investigación agrícola local lo menciona desde los trabajos del Dr. Mikko Sillampää, de la FAO, que en 1982, en un muy citado boletín, publica los niveles de Zn y otros micronutrientes para la región triguera de Argentina (Micronutrient and the nutrient status of soils. FAO Soils Bulletin N° 48). Varios trabajos conducidos por investigadores de la Facultad de Agronomía de Buenos Aires documentaron deficiencias de este nutriente con posterioridad.

En los últimos años se han conducido muchos ensayos de campo con frecuentes casos en los que se han documentado respuestas positivas a la fertilización con Zn en la región productora de granos. Estos trabajos se han concentrado principalmente en maíz, debido a la particular forma con la que el cultivo manifiesta síntomas de deficiencia (Ver Fotos) y la frecuencia observada de su aparición, principalmente en siembras tempranas con suelos fríos y con aplicaciones de fósforo en la línea, condiciones que potencian la inducción de la deficiencia del micronutriente.

Muchos de los resultados de estos ensayos han sido publicados recientemente, reportando los avances en la tecnología de uso de fertilizantes con Zn, e indican el interés por parte de los productores y asesores en la problemática del Zn. Normalmente las respuestas, cada vez más consistentes a la aplicación de Zn, se reportan dentro de un contexto de manejo de la fertilización balanceada con nitrógeno, fósforo y azufre en cantidades suficientes en relación con la extracción.

Simultáneamente a estos ensayos, se han venido realizando relevamientos de disponibilidad en base a muestreos de lotes de producción, inclusive con la representación cartográfica de áreas con distintas clases de disponibilidad, identificándose así extensas regiones sospechadas de deficiencias. Un ejemplo de estos relevamientos se presenta en un artículo de esta misma edición. Uno de estos relevamientos fue presentado en el 3er Simposio Internacional del Zinc en Hyderabad, India, que se ilustra en la tabla 1 mostrando una mayoría de muestras clasificadas como inferiores al nivel crítico de 1 ppm (DTPA) realizadas por dos laboratorios comerciales conocidos.

El desarrollo de nuevas tecnologías en fertilizantes ha dado lugar a la aparición de formulaciones de mayor eficiencia que las tradicionales en cuanto a la posibilidad de absorción de nutrientes por parte de las plantas y la oportunidad de aplicaciones de menores dosis unitarias de Zn, debido a una distribución más uniforme de este elemento. Esto ha permitido documentar con mayor exactitud y consistencia respuestas a la aplicación de Zn a la siembra en ambientes tentativamente deficientes. En forma asociada a esto, se ha experimentado de modo exploratorio en dónde y asociado a qué factores se evidencia la respuesta a Zn y cuáles serían los indicadores a medir para lograr una caracterización adecuada de los sitios y diagnosticar una potencial deficiencia y respuesta agronómica a la fertilización con Zn.



*Síntomas de deficiencia de Zinc en Pergamino,
(Fotografía Ferraris.)*



Tabla 1.

Tabla 1. porcentaje de muestras superiores o inferiores al nivel crítico (NC) de 1 ppm (DTPA) para distintas regiones de producción según análisis de Zn en muestras de lotes de producción realizados por dos laboratorios comerciales.

	Menor al NC	Mayor al NC	n	Laboratorio
	% muestras			
Buenos Aires	59	41	1,353	ACA-Suelo fértil
Santa Fe	71	29	741	ACA-Suelo fértil
Cordoba	75	25	129	ACA-Suelo fértil
Este Pampeana	85	15	179	TecnoAgro
Oeste R. Pampeana	44	56	378	TecnoAgro

COMPARACIÓN DE MOMENTOS DE APLICACIÓN Y DOSIS DE ZN

Una red de ensayos patrocinados por una empresa local comenzó con el objetivo de desarrollar la tecnología de aplicación y fertilización con Zinc. Se realizaron ensayos durante las campañas 2008/9 y 2009/10 en varias localidades de la Región Pampeana para identificar y ajustar recomendaciones de dosis, momentos y formas de aplicación de Zn en maíz. Los tratamientos consistían en diferentes dosis de Zn en aplicaciones al suelo y pulverizaciones foliares.

La figura 1 muestra el efecto de la aplicación de Zinc sobre el rendimiento de maíz. Los tratamientos fertilizados con solución NS+Zn mostraron incrementos positivos en rendimiento respecto a los tratamientos testigos sin Zn pero fertilizados con NP y S. Dicha respuesta varió entre 380 y 850 Kg/ha de maíz. Los tratamientos con Zn al suelo para todos los sitios evaluados mostraron respuestas positivas en rendimiento, pero no todos los sitios en donde se realizaron aplicaciones

foliares mostraron respuestas.

Se obtuvo respuesta a la aplicación al suelo en los 7 ensayos, mientras que con aplicaciones foliares sólo en 8 de 11 casos hubo respuestas positivas. Comparando la respuesta a las aplicaciones de Zn al suelo respecto a las aplicaciones foliares, sólo en un ensayo la respuesta a la aplicación foliar fue superior a la de suelo, mientras que en dos sitios la respuesta fue negativa; en tanto en el resto de los sitios las aplicaciones de solución NS+Zn al suelo presentaron mayores respuestas que las aplicaciones foliares.

Agrupando los tratamientos de Zinc foliar y al suelo para identificar y cuantificar el nivel de respuesta en producción de granos, considerando a cada sitio como un bloque, se realizó el análisis estadístico comparando las medias (LSD). En la Figura 2 se pueden observar los rendimientos promedio de maíz obtenidos para los distintos tratamientos de fertilización, y la respuesta en rendimiento.

Uno de los objetivos de estos ensayos fue ajustar las dosis aplicadas

Fig. 1

Rendimiento promedio de siete sitios y respuesta al agregado de Zn con diferentes dosis, formas y momentos de aplicación. Campañas 2008/09 y 2009/10. Fuente: F. Salvagioti, G. Ferraris, L. Ventimiglia y G. Espósito.

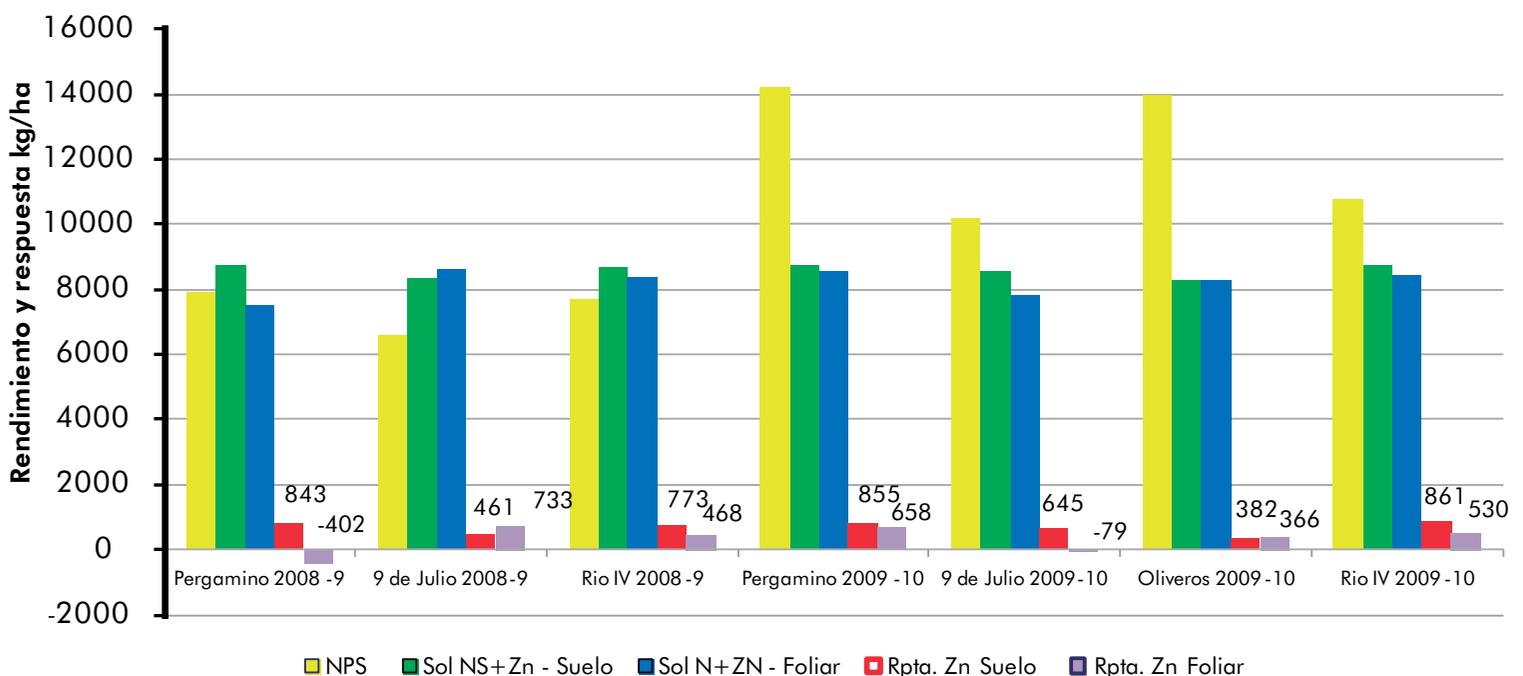
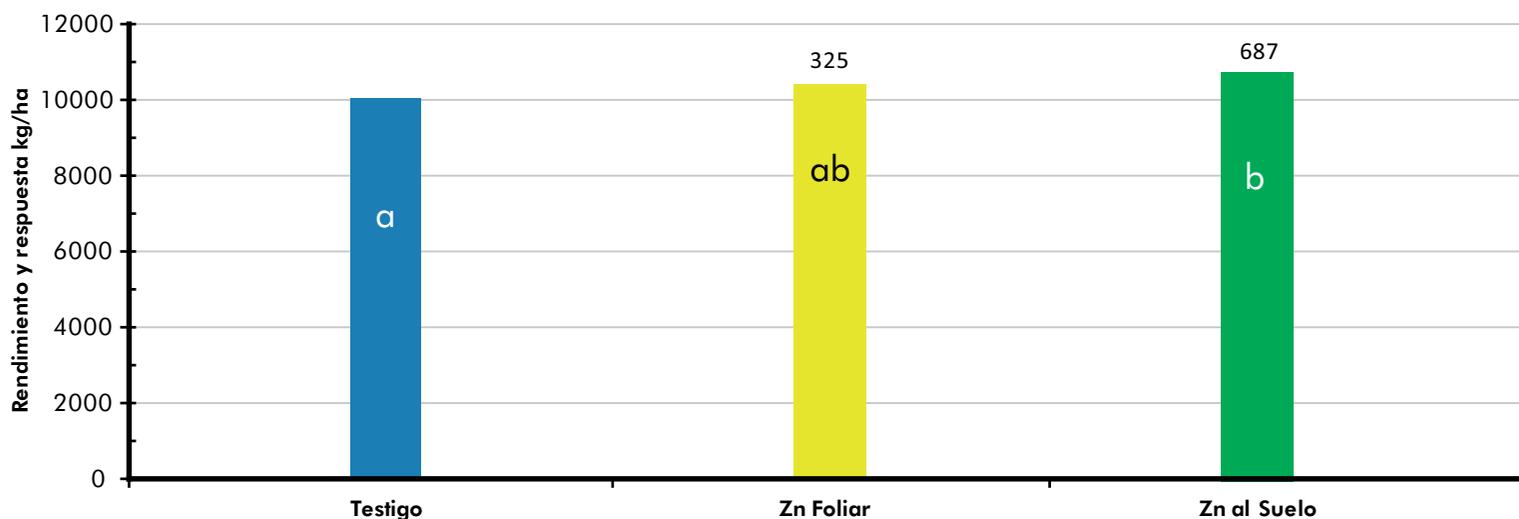


Fig. 2

Rendimiento promedio de los tratamientos con aplicaciones de Zinc al suelo y foliares (N= 7 sitios). INTA 9 de Julio, Pergamino, Oliveros y UNRC Río IV, campañas 2008-9 y 2009-10. Las letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas al 5%, Test LSD Fisher.



para establecer las curvas de respuesta al Zinc, de gran importancia para permitir determinar las dosis óptimas económicas. Por otro lado es importante poder determinar el momento óptimo de aplicación de Zn. En la campaña 2010-11 se condujo una red en la cual se compararon diferentes dosis y momentos de aplicación de formulaciones fluidas con Zn en las principales zonas productivas del país, como 9 de Julio, Pergamino, Rafaela, Oliveros, Río IV e Inrriville. En la Figura 3 se pueden observar los rendimientos relativos de 16 sitios en 5 campañas en las cuales se compararon diferentes dosis de Zn y momentos de aplicación de solución NS+Zn.

Como se puede observar en la Figura 3, no se encontraron diferencias significativas entre los dos momentos de aplicación del Zn (V1 vs V6) a las dosis correctas. Respecto a las dosis vemos que a dosis bajas (0.5 kg Zn/ha) no se logró alcanzar el máximo rendimiento, asociándose éste con la dosis intermedia de 1.5 kg de Zn/ha, sin lograrse aumentos ulteriores de rendimiento con dosis superiores de 3 kg de Zn/ha. Esta dosis óptima de 1.5 Kg/ha coincide con los resultados obtenidos por el Ing. Gabriel Espósito en la región de Río Cuarto, una zona con alta frecuencia de respuestas al Zn y a las dosis de aplicación con fertilizantes complejos granulados con Zn. La relación encontrada en los trabajos del Ing. Espósito entre el rendimiento relativo del maíz y la dosis de Zinc al suelo aplicado en V2 indica una respuesta hasta un máximo del 8% asociada a una dosis máxima de 1,9 kg Zn /ha en suelos con bajo contenido de Zinc disponible.

RESPUESTA CON FORMULACIONES COMPLEJAS GRANULADAS

Otro consistente trabajo sobre la respuesta al Zinc del maíz fue presentado recientemente en el último Congreso de Suelos, por los Ings. Michiels y Ruffo, con resultados de una red de evaluación con una duración de 2 campañas (2009-2011).

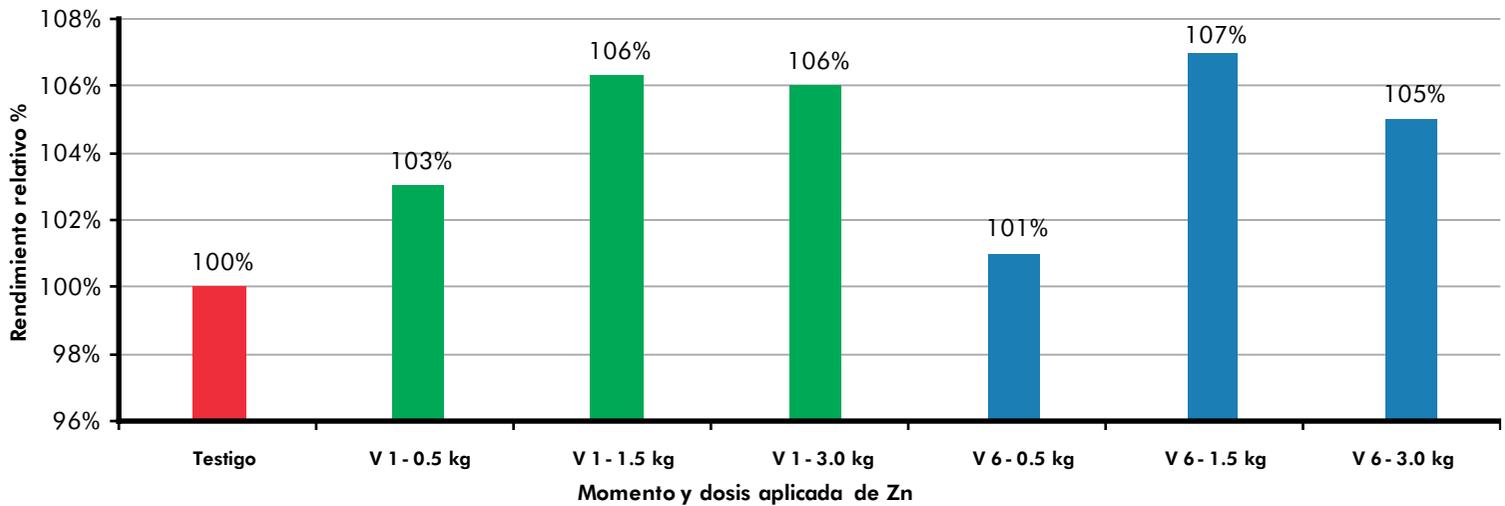
En este trabajo se utilizaron fertilizantes granulados complejos NPS con y sin Zn, evaluándose dosis crecientes de este micronutriente en 14 sitios-año. Los tratamientos evaluados incluyeron un control NPS sin Zn y cuatro dosis: 0.5, 1, 1.5 y 2 kg de Zn/ha. Las dosis de P y S fueron de 35 kg P/ha. y 20 kg S ha. Estos tratamientos fueron aplicados a la siembra e incorporados al costado y debajo de la línea de siembra con maquina estándar. Los tratamientos se balancearon con N a una dosis final de 180 kg N/ ha entre disponibilidad en el suelo a la siembra más N aplicado como fertilizante, mediante la aplicación de urea a la siembra o incorporada previamente. Los valores de Zn extractable oscilaron entre 0.6 y 1.3 ppm, y el 50% de las muestras presentaron valores por debajo del rango de suficiencia de 1.0 ppm para el método utilizado (extracción con DTPA).

En 8 de las 14 localidades se observó una respuesta significativa a la aplicación de zinc, mientras que en las otras 6 no se detectó una respuesta significativa. Al analizar sólo las localidades donde se observó una respuesta significativa a la fertilización con Zn, la interacción entre sitio y tratamiento no es significativa indicando que la respuesta a la fertilización fue similar entre sitios con deficiencia de Zn. El rendimiento promedio de los tratamientos en los catorce sitios se presenta en la figura 5. El rendimiento más elevado se obtuvo con la dosis de 1.5 kg Zn/ ha. La respuesta promedio de los 14 sitios entre este tratamiento y el testigo fue de 4.4% (484 kg/ha). Si se considera sólo los sitios donde se observó una respuesta significativa a la aplicación de zinc, la respuesta entre la dosis de 1.5 kg Zn/ ha. y el tratamiento testigo fue 8.7% (900 kg/ha). Estos resultados demuestran claramente el fuerte impacto de la aplicación de fertilizantes complejos con Zn para corregir la deficiencia de este micronutriente en la productividad de maíz.



Fig. 3

▼ Rendimiento Relativo promedio de la aplicación de solución NS+Zn en diferentes dosis y momentos. Promedio de 16 sitios en 5 campañas. Fuente: G. Ferraris, L. Ventimiglia, G. Espósito, F. Salvagiotti, H. Fontanetto, J.P. Lloelle, M. Boxler y M. Uranga.



CONSIDERACIONES FINALES

Los niveles promedio de Zn en los suelos de la región están en franca disminución (tal como se evidencia en varios trabajos publicados y en la frecuencia de muestras de suelo con medios a bajos), cuando no son decididamente insuficientes para sustentar una máxima productividad.

Considerando el alto costo de implantación del maíz, que implica la semilla híbrida, muchas veces con mejoras genéticas de vanguardia, y las elevadas dosis de fertilizantes nitrogenados necesarias para sustentar un potencial de rendimiento cercano a las 13 a 14 t/ha de grano, es indispensable mitigar cualquier posible limitación a los rendimientos, de modo de maximizar el retorno de la inversión.

Por esa razón, es muy posible que existan innumerables casos indetectables de la famosa “hambre oculta”, expresión con que se describen las situaciones en las que las deficiencias no son evidentes por sintomatología visual pero que impactan negativamente en los rendimientos. Muy posiblemente, los aumentos de rendimientos observados sean simplemente una mayor eficiencia de uso del nitrógeno y del fósforo una vez que los requerimientos aumentados de Zn son satisfechos por la fertilización específica con este micronutriente.

Un planteo intensivo de maíz debería incluir el agregado de zinc dentro del programa de fertilización, en especial en la zona núcleo y en la región más húmeda, toda vez que es la que presenta mayores frecuencias de respuesta. El análisis de costo beneficio es muy importante a considerar y variará para cada situación de producto fertilizante



BIBLIOGRAFÍA

Esposito, G. y Castillo. 2010.

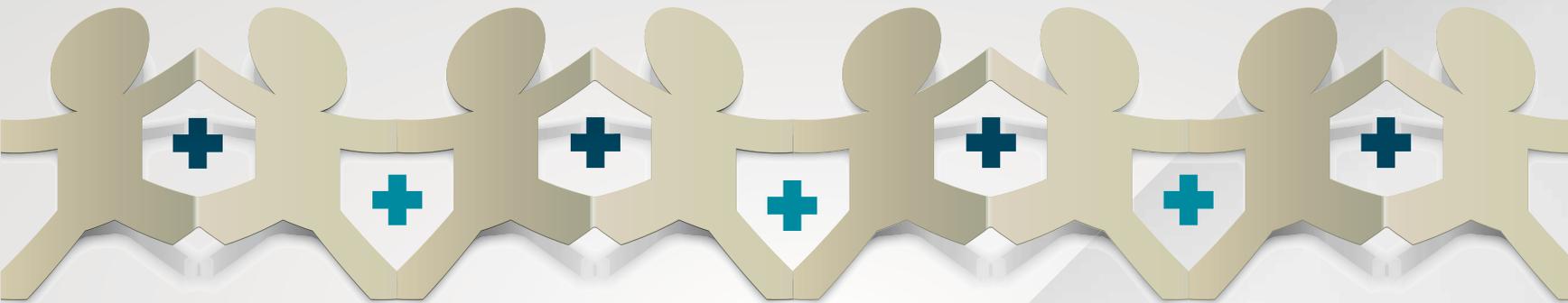
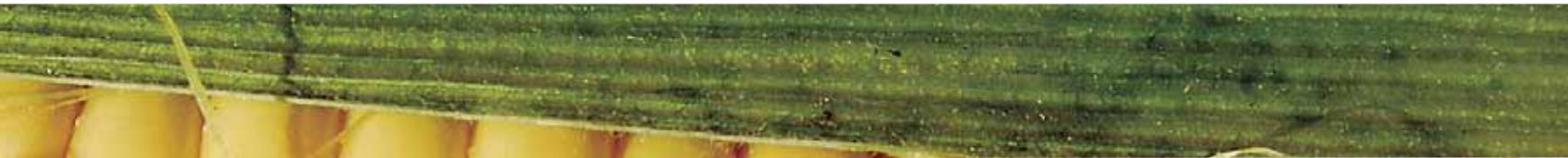
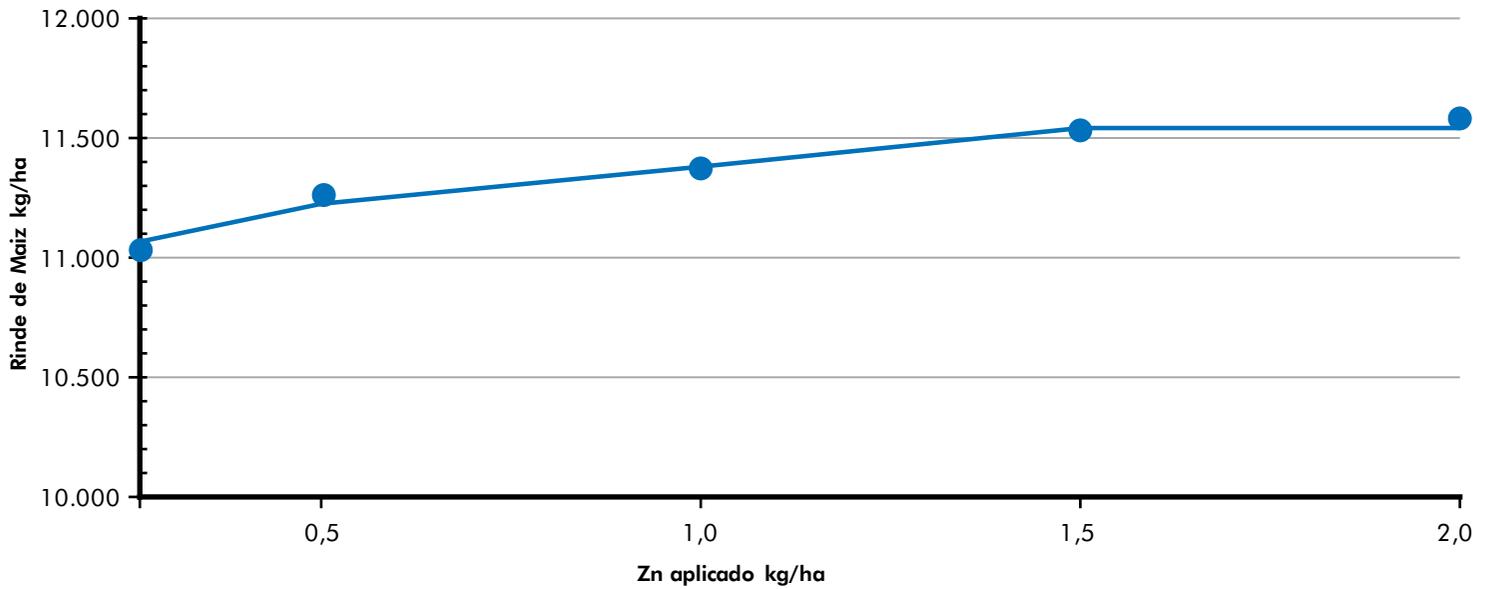
Melgar, R.J. ; M. Torres Duggan y G. Ferraris. 2011. Zinc Availability in the Pampean Region of Argentina. 3rd. Zinc International Symposium . Hyderabad, INDIA.

Michiels, C. L. y M. L. Ruffo. 2012. El zinc limita el rendimiento del maíz en la region pampeana Argentina. Actas XX Congreso Latinoamericano y XXIII Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata.

Urrutia J. 2012. Fertilización con Zinc en el cultivo de maíz: Desarrollo de SolMIX Zinc. Bunge Argentina

Fig. 4

Figura 5. Respuesta promedio del rendimiento de maíz a la fertilización con zinc en promedio para los catorce ensayos conducidos en las campañas 2009/10 y 2010/11. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.1$).



LA HERRAMIENTA PARA LLEGAR + LEJOS

Diseñamos la campaña a tu medida

Envíos a nuestras bases de datos, con el costo mas bajo y el resultado mas efectivo del mercado

Reportes de cada campaña garantizan la transparencia y miden la efectividad de cada acción

CONTACTANOS PARA SABER MÁS ACERCA DE NUESTROS SERVICIOS

info@horizonteadigital.com

FERTILIZACIÓN FOLIAR

principios científicos y experiencias de campo

Dra. Victoria Fernández, Dr. Thomas Sotiropoulos y Dr. Patrick Brown

La Asociación Internacional de Fertilizantes (IFA) publicó el libro: "Fertilización Foliar: Principios Científicos y Experiencias de Campo", con el objetivo de entregar una visión general sobre la fertilización foliar que fuera de utilidad tanto para agricultores, consultores y científicos. El libro ofrece un análisis integrado de los principios, tanto fisicoquímicos como biológicos que influyen en la absorción foliar y utilización de los solutos por la planta, y además analiza los resultados experimentales en laboratorio y a campo, de manera de establecer los factores que determinan la eficacia de las aplicaciones foliares. En el libro se unen la experiencia empírica con los principios físicos, químicos y biológicos para comprender mejor esta tecnología, su potencial, debilidades e incertidumbres. En los próximos números de Fertilizar de este año publicaremos una síntesis de los capítulos. Las referencias y citas bibliográficas, así como mayores detalles podrán encontrarse en el original, que está disponible sin costo en inglés desde el sitio oficial de IFA

INTRODUCCIÓN

La fertilización foliar es una herramienta importante para el manejo sostenible y productivo de los cultivos. Sin embargo, la comprensión actual de los factores que influyen en la eficacia máxima de aplicaciones foliares sigue siendo incompleta. Este libro ofrece un análisis integrado de los principios, físicos, químicos y biológicos, conocido por su influencia en la absorción foliar y su utilización por la planta así como comentarios sobre resultados experimentales de laboratorio y de campo que proporcionan información sobre los factores que determinan en última instancia la eficacia de las aplicaciones foliares. Los avances en este campo requieren una sólida comprensión de los principios físicos, químicos, biológicos y ambientales que rigen la absorción y utilización de nutrientes foliares aplicados. El objetivo de este libro es describir en detalle el estado del conocimiento sobre los mecanismos de la absorción por los órganos de la planta (hojas y frutos) de soluciones nutritivas aplicadas superficialmente y describir los factores ambientales y biológicos y las interacciones que son clave para comprender estos procesos. La información empírica obtenida en ensayos de pulverización foliar de nutrientes y las prácticas de campo se combinarán con principios físicos, químicos y biológicos para llegar a una mayor comprensión de esta tecnología, su potencial, sus debilidades y sus incógnitas. Los autores también se han esforzado en ilustrar los retos de esta tecnología, la investigación y desarrollo necesarios para su avance.

MECANISMOS DE PENETRACIÓN DENTRO DE LA PLANTA

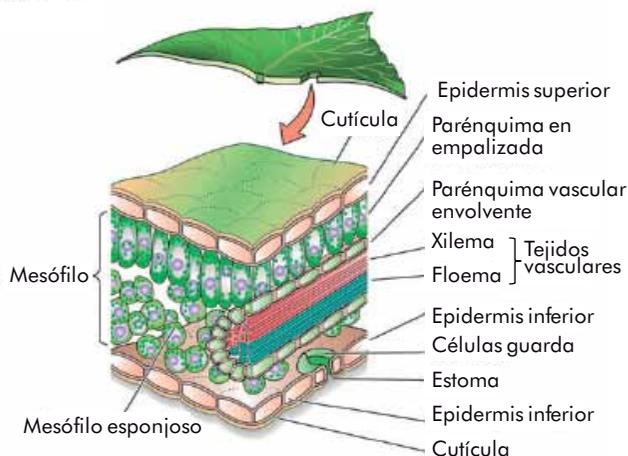
Los procesos por el cual una solución de nutrientes que se aplica al follaje de un cultivo es aprovechada por las plantas incluyen: adsorción en la superficie de la hoja, penetración cuticular, adsorción y absorción en los compartimentos celulares metabólicamente activos en la hoja, y finalmente el desplazamiento y la utilización de los nutrientes absorbidos por la planta. Desde el punto de vista práctico, con frecuencia es difícil distinguir estos procesos entre sí, aunque en muchos ensayos donde se utiliza el término 'absorción foliar' a menudo se refieren a un aumento del contenido de nutrientes en los tejidos sin considerar directamente el beneficio relativo biológico de la aplica-

ción a la planta en su conjunto. Esta confusión e imprecisión complica enormemente la interpretación tanto en ambientes controlados de experimentos de laboratorio como de campo y, sin duda, ha dado lugar a respuestas inconsistentes y una incertidumbre general para predecir la eficacia de los tratamientos foliares. Por lo tanto los desafíos que enfrentan tanto los que practican la fertilización foliar como los investigadores que tratan de entender los factores que determinan la eficacia de los fertilizantes foliares son grandes.

La superficie externa de las hojas se caracteriza por una compleja y diversa variedad de adaptaciones especializadas, de orden físico y químico.

Figura 1.

Estructura típica de una hoja incluyendo los tejidos vasculares de una nervadura.



co, que sirven para mejorar la tolerancia de las plantas a una extensa lista de factores estresantes, que incluyen la irradiación desfavorable, temperaturas, déficit hídricos, vientos, daño físico, polvo, lluvia, contaminantes, productos químicos antropogénicos, insectos y patógenos. Las estructuras y superficies aéreas de la planta también están bien adaptadas para controlar el paso del agua y gases, y limitar así la pérdida de nutrientes, metabolitos y agua interna desde la planta al medio ambiente en condiciones desfavorables. Estas mismas características que protegen a la planta del estrés ambiental y regulan el intercambio de agua, gases y nutrientes son los mismos que afectan la absorción foliar de los nutrientes aplicados. Mejorar la eficacia y la reproducibilidad de la fertilización foliar requiere conocer los atributos físicos y químicos de la superficie de las plantas así como los procesos de penetración en la planta.

Las superficies externas de las plantas generalmente están cubiertas por una cutícula hidrofóbica. Poseen, además, células epidérmicas modificadas como tricomas (pelos) y estomas. Los estomas son poros rodeados de dos células guardianas que regulan su apertura y cierre; están presentes en altas densidades en las hojas y son responsables del control del intercambio gaseoso y transpiración de la planta.

La superficie externa de la cutícula está cubierta por ceras que confieren un carácter hidrofóbico a la superficie de la planta. El grado de hidrofobicidad y polaridad de la superficie de la planta depende de la especie, su química y topografía específica, las que también son influidas por la estructura microscópica de la célula epidérmica. Como las hojas, los frutos también están protegidos por una cutícula y pueden contener estructuras epidérmicas como estomas o tricomas que influyen en la transpiración y contribuyen a conducir agua y nutrientes, que son críticos para el crecimiento y calidad de los frutos.

El corte de una hoja típica consta de una cutícula que cubre la parte superior e inferior de las células epidérmicas, las que encierran el mesófilo (Figura 1). Las hojas difieren en su estructura entre especies pero generalmente consisten en parénquima en empalizada en la parte superior y parénquima esponjoso en la parte inferior. En este último hay grandes espacios entre las células del mesófilo. La epidermis es una capa compacta con dos o más capas de células y las estructuras principales de la epidermis relacionadas con el transporte de nutrientes y

agua son la cutícula y los estomas.

Las hojas representan la mayor parte de la superficie total de la parte aérea y por lo tanto capturarán la mayor parte de lo que se aplique con un pulverizador. También interactúa con el agua de lluvia, la niebla o el rocío. Si bien la principal función de la superficie es proteger la planta contra la deshidratación, la permeabilidad de estas superficies al agua y a los solutos puede desempeñar un papel eco-fisiológico crucial para absorber agua bajo condiciones hídricas limitantes.

• *Todas las partes aéreas de la planta están cubiertas por una cutícula hidrofóbica que limita el intercambio bidireccional de agua, solutos y gases entre la planta y el entorno.*

• *Las estructuras epidérmicas como estomas o pelos pueden aparecer en la superficie de los distintos órganos de la planta y desempeñar importantes funciones fisiológicas.*

EL ROL DE LA ESTRUCTURA Y LA MORFOLOGÍA VEGETAL

El requisito fundamental para una pulverización foliar eficaz de nutrientes es que el ingrediente activo penetre en la superficie de la planta para que pueda convertirse metabólicamente activo en las células objetivo en donde se necesitan los nutrientes. Un producto aplicado por vía foliar puede cruzar la superficie de la hoja a través de la cutícula per se, a lo largo de grietas o imperfecciones de la cutícula, o a través de estructuras epidérmicas modificadas como los estomas y pelos. La cutícula es una barrera eficaz contra la pérdida de agua y sin embargo, al mismo tiempo, resulta igualmente eficaz contra la absorción de productos de las aplicaciones foliares. La presencia de grietas cuticulares o la aparición de estructuras epidérmicas modificadas puede contribuir significativamente a aumentar la tasa de absorción de las aplicaciones foliares de nutrientes. La estructura y composición de la superficie de la hoja se describirán brevemente como base para entender su papel en la captación y absorción de aplicaciones foliares de nutrientes aplicados.

La cutícula y estructuras especializadas de la epidermis

La cutícula que cubre las partes aéreas de la planta es una capa extracelular compuesta de una matriz de biopolímeros con ceras impregnadas dentro de la cutícula, o depositados en la superficie. Del lado interno, una sustancia cerosa llamada cutina se mezcla con polisacáridos de la pared celular de la epidermis: celulosas, hemicelulosas y pectinas en proporción similar a la de las paredes celulares. Por lo tanto, la cutícula puede considerarse una pared celular 'cutinizada'.

La matriz de la cutícula está hecha de cutina (un bio-poliéster), y su composición puede variar según el órgano, especie y genotipo, etapa de desarrollo y las condiciones de cultivo. Mientras que cutina se despolimeriza y solubiliza en la saponificación, la cutícula de algunas especies pueden contener un polímero no saponificable y no extraíble alternativo, conocido como cutan, presente en las especies más tolerantes a la sequía xeromórficas que almacenan agua como el Agave.

La composición de las ceras de la cutícula, sea depositado en la superficie o impregnadas en ésta, varían entre diferentes especies, entre distintos órganos de la planta, la etapa de desarrollo y las condiciones ambientales reinantes.

Así como la cutina o matriz de cutan y las ceras, en la cutícula pueden estar presentes cantidades y tipos variables de resinas fenólicas en forma libre incrustados en la matriz o químicamente unidos a la cutina o ceras. Además del importante papel de los fenoles en la protección contra factores de estrés bióticos (microbios o herbívoros) y abióticos (radiación ultravioleta, contaminantes), también están implicados en la atracción de insectos polinizadores.

Muchas superficies de las plantas son pubescentes en mayor o menor grado, como se muestra en la figura 2 para soja, maíz y cereza (superficie de arriba de la hoja). Los tricomas son apéndices unicelulares o multicelulares que se originan solo de las células epidérmicas, y se proyectan hacia fuera de la superficie de varios órganos de las plantas. Los tricomas pueden crecer en todas partes de la planta y se clasifican como "glandulares" o "no glandulares". Mientras que estos últimos se distinguen por su morfología, los diferentes tipos de tricomas "glandulares" se definen por los materiales que excretan, acumulan o absorben. Los tricomas "No glandulares" presentan una gran variabilidad en tamaño,

Figura 2.

Superficie adaxial (superior) de: (A) soja; (B) maíz; y (C) cerezo (Micrografías de V. Fernández, 2010).

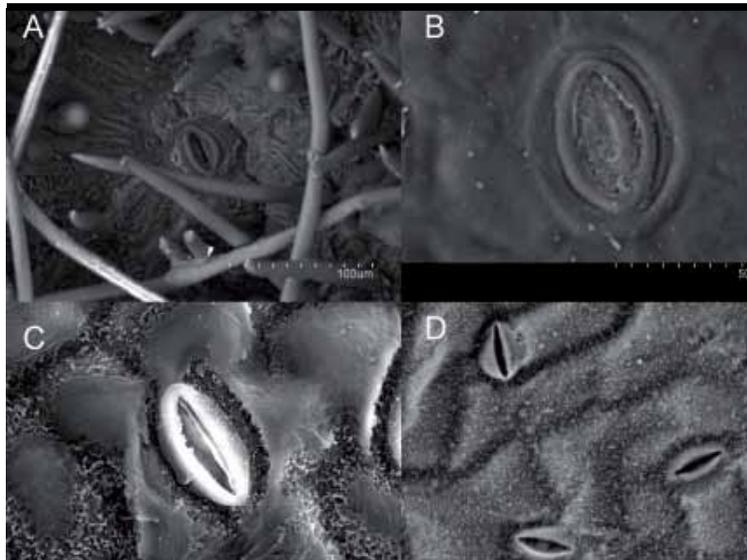


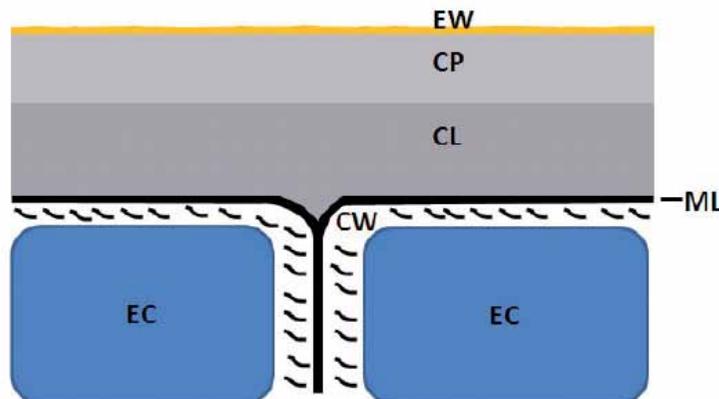
Figura 3.

Análisis de micrografías electrónicas de estomas presentes en la superficie de: (A) fruto de durazno; (B) fruto de cereza; (C) superficie abaxial de hoja de rosal; y (D) superficie abaxial de hoja de brócoli (micrografías de V. Fernández, 2010).



Figura 5.

Representación esquemática de la estructura general de la cutícula de la planta que cubre dos células epidérmicas adyacentes (EC) separados entre sí por laminillas intermedias y una capa pectinosa (ML) y la pared celular (CW). Las ceras epicuticulares (EW) se depositan en la cutícula propiamente dicha (CP) que se compone principalmente de una matriz de biopolímero y ceras intra cuticulares. La capa cuticular (CL) contiene principalmente cutina y/o cutan y polisacáridos de la CW.



morfología y función y su presencia es más prominente en las plantas que prosperan en hábitats secos y por lo general en los órganos de la planta jóvenes.

Los estomas son células epidérmicas modificadas que controlan el intercambio gaseoso y las pérdidas de agua por transpiración. Están en general en el lado de abajo de la hoja, pero en algunas especies incluyendo maíz y soja, también están en la parte superior. Los estomas también están en la epidermis de muchos frutos como duraznos, nectarinas, ciruelas o cerezas aunque a menor densidad que en las hojas. La funcionalidad, morfología y densidad de los estomas varían entre

Figura 4.

Ángulo de contacto promedio con gotas de agua pura en el lado superior (adaxial) de hojas de *Eucalyptus globulus* (A) y *Ficus elastica* (B); y superficies de frutos de durazno (C) y manzana (D) (V.A. Fernández, 2011).

Órgano vegetal y especie	Ángulo promedio de contacto con agua pura (°)	Imagen de la gota
Lado Superior (adaxial) de una hoja de <i>Eucalyptus globulus</i>	140	
Lado Superior (adaxial) de una hoja de <i>Ficus elastica</i>	83	
Durazno 'Calanda' (<i>Prunus persica</i> L. Batsch)	130	
Superficie de fruta de manzana (<i>Malus domestica</i> L. Borkh)	84	

especies y órganos (Figura 3) y pueden verse afectados por factores de estrés como deficiencias de nutrientes o condiciones ambientales, como intensidad y calidad de la luz.

Otro ejemplo de las estructuras epidérmicas que se producen en la superficies de las plantas son las lenticelas, estructuras macroscópicas que pueden producirse en los tallos, pedicelos o superficies de los frutos (por ejemplo, están presentes en la cáscara de frutas de manzana, pera o mango) una vez que se ha formado la peridermis (corcho).

La absorción de soluciones nutritivas por la superficie de la planta puede ocurrir a través de:

- La cutícula
- Grietas e imperfecciones de la cutícula.
- Estomas, tricomas, lenticelas.

Efecto de la topografía: micro - y nano-estructura de la superficie de la planta

La topografía de la superficie de la planta, según lo determinado por la composición y estructura de las ceras cuticulares en áreas lisas o en superficies pubescentes, determinará sus propiedades y las interacciones con el agua, soluciones nutritivas, contaminantes, microorganismos, agroquímicos, etc.

Las superficies de la planta tienen diferentes grados de mojabilidad en contacto con las gotas de agua como se muestra en la figura 4 para hojas y frutos de cuatro especies.

La presencia de estructuras con micro y nanos relieves relacionados con las superficies en las células epidérmicas y las propiedades químicas de las ceras depositadas en la superficie de la hoja, puede aumentar notablemente su aspereza y el área de la superficie, y en última instancia determinará el grado de polaridad e hidrofobicidad. Pueden

esperarse diferencias en polaridad superficial e hidrofobicidad en relación con la condiciones variables de crecimiento, especies, variedades y órganos, y éstos influirán en la efectividad de las aplicaciones foliares.

Vías y mecanismos de penetración

La estructura y química de la superficie de la planta afectará la difusión de las sustancias entre la superficie foliar y el entorno y por lo tanto la velocidad de absorción de los fertilizantes foliares. En las secciones siguientes se describen las vías de penetración superficial más importantes de las pulverizaciones con químicos, con énfasis en los mecanismos de permeabilidad cuticular y absorción estomática.

Permeabilidad cuticular

La cutícula consiste en tres capas desde el exterior hacia el interior: Capa cerosa epicuticular (EW), la cutícula propiamente dicha (CP) y la capa cuticular (CL) (Figura 5). La capa cerosa EW es el componente más externo y más hidrofóbico de la cutícula. La cutícula propiamente dicha CP que se encuentra debajo contiene principalmente cutina y/o cutan y está libre de polisacáridos. La capa cuticular CL se encuentra en el CP y consta de cutina/cutan, pectina y hemicelulosas que aumentan la polaridad de esta capa debido a la presencia de grupos funcionales hidroxilo y carboxílicos. La laminilla media y la capa de pectina (ML) se encuentran por debajo de la capa cuticular CL. Cantidades variables de fibrillas de polisacárido y laminillas de pectina pueden extenderse desde la pared celular (CW), enlazando la cutícula con el tejido subyacente.

Un aumento gradual de la carga negativa desde la cera epicuticular a la capa de pectina crea un gradiente electroquímico que puede aumentar el movimiento de cationes y moléculas de agua. Las ceras intra cuticulares limitan el intercambio de agua y solutos entre la planta y el entorno mientras que las ceras epicuticulares influyen en la mojabilidad, luz reflejada y las propiedades de la superficie.

La naturaleza lipofílica e hidrofóbica de los componentes estructurales de la cutícula hacen una eficaz barrera contra la difusión de compuestos hidrofílicos polares. Sin embargo, los compuestos lipofílicos y polares pueden penetrar la membrana cuticular hidrofóbica a tasas elevadas en comparación con soluciones de electrolitos polares que no tienen agentes tensoactivos. De hecho, varios estudios proporcionan evidencias de la penetración de solutos polares a través de cutículas sin estomas intactas por medios directos e indirectos.

La evidencia experimental ha demostrado que las cutículas son membranas asimétricas con un gradiente de estructura fina y ceras desde el exterior hacia la superficie interna. Las cutículas de la planta tienen un

compartimiento de gran absorción interna que consiste principalmente en una matriz de bio-polímeros (cutina y/o cutan) y un compartimiento exterior comparablemente más pequeño (= 10% del volumen total) en donde predominan las ceras.

El estado actual del conocimiento acerca de los mecanismos de penetración de sustancias solutas polares y apolares lipofílicas a través de la cutícula se discutirá brevemente en los párrafos siguientes.

La cutícula es una membrana asimétrica compuesta principalmente por 3 capas:

- La capa de cera epicuticular.
- La cutícula propiamente dicha, principalmente compuesta de cutina/cutan y ceras intracuticulares.
- La capa cuticular contiene cutina/cutan y polisacáridos.

Permeabilidad de compuestos lipofílicos apolares (solubles en solventes orgánicos, aceites y grasas)

La penetración de sustancias apolares lipofílicas a través de la cutícula sigue un proceso de disolución-difusión. Este modelo supone que el movimiento de una molécula apolar lipofílica, de una solución que se deposita en la superficie de la planta sobre la cutícula precede a la difusión de la molécula a través de la cutícula. La difusión de una molécula lipofílica se rige por su partición, y la velocidad de penetración será proporcional a la solubilidad y la movilidad del compuesto en la cutícula.

Considerando las leyes de difusión el flujo (J ; molm⁻²s⁻¹) se relaciona con el gradiente de concentración, con solutos que pasan de regiones de alta a baja concentración a una magnitud proporcional al gradiente de concentración. En el modelo de difusión cuticular, el flujo que difunde es proporcional al coeficiente de permeabilidad de la membrana multiplicado por la diferencia de concentración entre el interior y las paredes exteriores de la cutícula:

$$J = P * (C_i - C_o)$$

Donde: C_i y C_o son las concentraciones en la parte interior y exterior de la cutícula.

La evidencia experimental demuestra que la cutícula puede actuar como un tamiz molecular, debido a que es selectiva para el tamaño de las moléculas. El tamaño de los poros sigue una distribución normal y, como en el caso de algunos agroquímicos, puede limitar la difusión a través de la cutícula.

Somos la única plataforma de comunicación integral que difunde las producciones agropecuarias del norte argentino

SOMOS

- Revista Amanecer Rural.
- Revista Amanecer Fruti Hortícola.
- El Campo Hoy Diario Digital.
- WWW.amanecerrural.com El Portal Agropecuario del Norte.
- Amanecer Capacitando: Seminarios y Jornadas.
- Campo Demostrativo: Donde las empresas del sector pueden mostrar sus paquetes tecnológicos disponibles para el Norte.

Somos un equipo al servicio del productor agropecuario del NORTE ARGENTINO



Haciendo Extensión Agropecuaria



Permeabilidad de electrolitos hidrofílicos (compuestos miscibles/solubles en agua, como sales minerales, quelatos o complejos).

La permeabilidad de la cutícula a los solutos se investiga en cutículas aisladas sin estomas. En ausencia de soluciones iónicas tensoactivas, los compuestos hidrofílicos en general penetran la cutícula a menor velocidad que los compuestos apolares lipofílicos. Esto se explica por el carácter lipofílico de los constituyentes de la cutícula, así como la facilidad con la cual se difunden los compuestos lipofílicos por la mayor solubilidad en ese medio en comparación con los compuestos hidrofílicos. Sin embargo, algunos autores han sugerido mecanismos alternativos a la simple disolución y difusión en la cutícula y han propuesto que los solutos hidrofílicos pueden penetrar a través de la cutícula a través de un camino físicamente distinto, que han sido llamados "poros polares, acuosos o lleno de agua"

Se presume que estos poros pueden surgir de la absorción de moléculas de agua en partes polares situados en la capa cuticular, como grupos carboxilos sin esterificar en la red de cutina; y grupos carboxílicos de material péctico de la pared celular. Sin embargo, no hay evidencia experimental concluyente de estos "poros acuosos" en las cutículas, ya que no son visibles o identificables con las tecnologías microscópicas actuales.

Sin embargo, el tamaño de los "poros acuosos" de algunas especies de plantas se ha estimado indirectamente por ensayos de permeabilidad con cutículas sin estomas. Se calcularon diámetros de alrededor de 1 nm en cutículas de citrus sin cera. Además, se calcularon diámetros de poros entre 4 y 5 nm en ensayos de permeabilidad realizados en hojas intactas de café y de álamo.

- *La penetración de compuestos lipofílicos apolares penetran las cutículas por un proceso de disolución y difusión.*
- *Los mecanismos de penetración por compuestos hidrofílicos, polares no están completamente aclarados todavía.*

Permeabilidad de los estomas y otras estructuras de la superficie de la planta

La contribución potencial de estomas a la penetración de los productos químicos aplicados por la hoja ha sido un motivo de controversia por muchas décadas y aún no está completamente entendida. Los primeros estudios destinados a evaluar el proceso de absorción por los estomas sugieren que ocurre por infiltración es decir, el flujo de masa de la solución foliar aplicada al interior de la hoja a través de los estomas abiertos. Sin embargo, se demuestra que la infiltración espontánea a través de un estoma abierto de una aplicación foliar de una solución acuosa no puede ocurrir sin una presión externa o un agente tensoactivo que reduzca la tensión superficial de la solución por debajo de cierto umbral. Posteriormente, muchos estudios han demostrado mayores velocidades de absorción en las superficies foliares donde hay estomas y, en especial, cuando las condiciones experimentales favorecen su apertura. Investigaciones llevadas a cabo en hojas que contienen estomas solo del lado de abajo demostraron tasas de penetración foliar mayores por el envés en comparación con el lado superior adaxial. La contribución directa de estomas en el proceso de penetración de soluciones acuosas aplicadas por vía foliar en ausencia de agentes tensoactivos ha sido posteriormente confirmada con técnicas y metodologías mejoradas.

Los mecanismos de movimientos de solutos en frutas han recibido menos atención, excepto evaluaciones de la permeabilidad de manzanas a soluciones de Ca. Se reportó una importante contribución de los estomas y tricomas en la captación de soluciones de Ca aplicadas durante las primeras etapas del desarrollo de los frutos. Sin embargo, la posterior desaparición de estomas y tricomas seguida por el sellado de las cicatrices restantes por cutina y ceras reducen significativamente la permeabilidad de las superficies de la fruta.

- *Los estomas desempeñan un papel importante en la absorción de soluciones de nutrientes aplicadas al follaje.*
- *Los mecanismos de penetración estomática por agua pura no están todavía completamente aclarados, pero recientes evidencias demuestran el proceso de difusión a lo largo de las paredes del poro estomático.*

- *El agregado de tensoactivos en la formulación de la solución nutritiva mejora la infiltración de los estomas (capítulo 3).*

CONCLUSIONES

Se describe en este capítulo el estado actual de conocimiento del proceso de absorción de soluciones por las superficies de la planta. Las plantas están cubiertas por una cutícula hidrofóbica que controla la pérdida de agua y solutos de gases al medio ambiente externo, y a la inversa también impide su libre entrada al interior de la planta. Las características estructurales y químicas de la superficie de la planta hacen difícil el mojado y por lo tanto la impregnación por una solución nutritiva polar aplicada en la superficie. Teniendo en cuenta el estado actual del conocimiento, pueden abordarse las siguientes certezas, incertidumbres y oportunidades para la aplicación de fertilizantes foliares.

Certezas

- *Las superficies de la planta son permeables a las soluciones nutritivas.*
- *La facilidad por el cual una solución nutritiva puede penetrar en el interior de la planta dependerá de las características de la superficie de la planta, que puede variar con el órgano, especie, variedad y las condiciones de crecimiento, y en las propiedades de la formulación aplicada por aspersión foliar.*
- *Las superficies de la planta poseen normalmente una capa hidrofóbica de cera epicuticular.*
- *El micro y nano relieve asociado con la estructura de las células epidérmicas y las ceras epicuticulares depositadas en la superficie, junto con la composición química de estas ceras, determinará la polaridad y la hidrofobicidad de la superficie de cada planta en particular.*
- *Las estructuras epidérmicas como los estomas y lenticelas, que están presentes en las superficies de hojas y frutos, son permeables a las soluciones aplicadas a la superficie y pueden desempeñar un papel significativo en su absorción.*
- *Las sustancias apolares lipofílicos atraviesan la cutícula mediante un proceso de disolución - difusión.*

Incertidumbres

- *Los mecanismos de penetración cuticular de compuestos polares, hidrófilos (es decir, la incorporación de fertilizantes foliares en solución acuosa) no están totalmente entendidos por el momento.*
- *La contribución de la vía estomática al proceso de absorción foliar debe ser aun mejor esclarecido, así como el papel de otras estructuras epidérmicas como los tricomas (pelos) y lenticelas.*
- *Mejorar la eficacia de los fertilizantes foliares requerirá una mejor comprensión de los fenómenos de contactos en la interface entre el líquido (es decir, la formulación de fertilizantes foliares) y el sólido (es decir, la superficie de la planta).*
- *La efectividad de los tratamientos con nutrientes foliares mejorará una vez que los mecanismos de absorción foliar sean mejor entendidos.*

Oportunidades

- *Múltiples experimentos científicos y estudios aplicados llevados a cabo en el siglo pasado han demostrado que las superficies de la planta son permeables a los fertilizantes foliares.*
- *Esta permeabilidad presenta la oportunidad de suministrar nutrientes a los tejidos y órganos de la planta, obviando la absorción radicular y los mecanismos de desplazamiento que pueden limitar el suministro de nutrientes a las plantas bajo ciertas condiciones de crecimiento.*
- *La fertilización foliar tiene un gran potencial y debe ser más explorada y explotada en el futuro.*

LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA afecta tamaño y contenido de proteína en GRANOS DE CEBADA CERVECERA

apmaglian@agro.uba.ar



Una de las grandes preocupaciones de los productores a la hora de sembrar cebada, y en particular si hay contratos con las malterías, es la calidad de los granos, que deben tener contenidos protéicos apropiados, ni muy altos ni muy bajos, y un buen tamaño, características asociadas con un buen vigor de germinación que asegure la producción de malta de alta calidad. Este trabajo conducido por el grupo prestigioso de la Universidad de Buenos Aires pretende mostrar si hay o no asociación entre estas variables, de modo de discriminar por una de ellas en algunas de las etapas y, sobre todo, ver cómo el manejo de la fertilización nitrogenada las afecta y, en particular, si al levantar el contenido de proteína con la fertilización, este aumento es diferente en los granos grandes o pequeños.

INTRODUCCIÓN

La cebada cervecera producida en nuestro país se destina casi exclusivamente a la elaboración de malta, principal materia prima para las cervecerías. Uno de los principales determinantes de la calidad industrial de la cebada es el contenido proteico del grano. La eficiencia operativa de las fábricas de cerveza disminuye si se emplean maltas elaboradas a partir de cebada con alto contenido proteico. Por otra parte, valores muy bajos de proteínas pueden, entre otros inconvenientes, limitar el crecimiento de las levaduras durante la fermentación. Otro requerimiento industrial muy importante es disponer de granos de tamaño grande y uniforme (denominado usualmente calibre). En el estándar comercial de la Argentina se exige que el 85% del peso del cereal quede retenido en una zaranda de 2,5mm y menos del 3% quede por debajo de la zaranda de 2,2mm. En otros países los requisitos de calibre son más exigentes aún.

La fertilización nitrogenada, además de aumentar los rendimientos, puede alterar la calidad industrial de los cereales. Entre otras cosas, puede provocar aumentos en el contenido proteico,

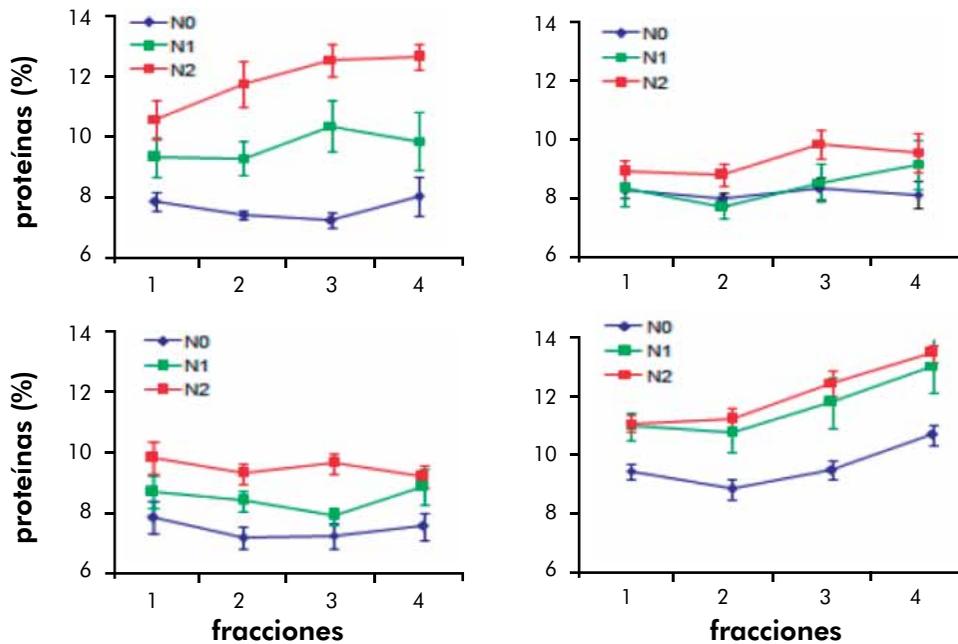
reducciones en el calibre y el peso individual de los granos. Las disminuciones en el calibre se deben a que aumenta el número de granos que provienen de macollos y a que se generan granos en posiciones más extremas de la espiga, los que se caracterizan por un menor tamaño.

Se suele considerar que los granos de menor tamaño presentan mayores contenidos proteicos. Los estreses ambientales durante la etapa del llenado (por ej., las sequías y las altas temperaturas) provocan simultáneamente una reducción del tamaño de los granos y un aumento en el contenido proteico. Esto podría explicar que, en muchos casos, exista una asociación negativa entre calibre y contenido proteico del grano. Sin embargo, granos de distinto tamaño provenientes de un mismo ambiente, disponen de las mismas ofertas de fotosintatos y nitrógeno, por lo tanto deberían tener similar contenido proteico.

El objetivo de este trabajo fue determinar si en un mismo ambiente los granos correspondientes a las fracciones más finas poseen un contenido proteico distinto a los de las fracciones más gruesas. Las hipótesis a poner a prueba fue que para un mismo

Figura 1.

Porcentaje de proteína en grano de cada tratamiento en función de las distintas fracciones. A: Junín 2005, B Junín 2006, C: Baigorrita 2006, D: Junín 2008.



ambiente los granos de distinto calibre no presentan diferentes contenidos proteicos.

28

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron cuatro experimentos a campo con cultivos de cebada cervecera variedad Scarlett en las localidades de Junín (años 2005, 2006 y 2008) y Baigorrita (2006), en el norte de Buenos Aires. Los ensayos a campo se realizaron en lotes seleccionados por su larga historia agrícola. Antes de la siembra se midió el contenido de nitratos en el perfil hasta los 60 cm de profundidad.

Los tratamientos que se evaluaron fueron tres niveles de fertilización nitrogenada a la siembra: sin fertilizar (Testigo); con el fertilizante necesario para alcanzar una disponibilidad de 100 kg N /ha sumando el nitrógeno del fertilizante más el presente en los nitratos hasta 60 cm de profundidad (N1); y con el fertilizante para una disponibilidad de 160 kg N /ha (N2). Los tratamientos estuvieron dispuestos en cuatro bloques completos aleatorizados. Cada parcela tuvo 39 m2 de superficie. Se utilizó urea como fuente nitrogenada. Se realizó una fertilización de base con fósforo y azufre en todas las parcelas para llevar dichos nutrientes a niveles que no limiten el crecimiento del cultivo.

Cuando el cultivo alcanzó la madurez comercial (granos con 12% de humedad) se cosechó una muestra de un metro cuadrado de cada parcela y se determinó el calibre y el contenido de nitrógeno. Con los calibres medidos se clasificaron los granos en cuatro fracciones: 1) mayor a 2,8 mm, 2) entre 2,8 y 2,5 mm, 3), entre 2,5 y 2,2 mm y 4) menor a 2,2 mm.

En cada una de las fracciones se determinó el contenido de nitrógeno y los resultados se expresaron como porcentaje de proteína en grano. Para calcular el contenido proteico de cada parcela, se hizo el promedio ponderado de las cuatro fracciones que componen la parcela, según los porcentajes de cada fracción respecto del total.

Para el análisis de los datos se utilizó análisis de varianza, y

cuando los efectos de los tratamientos fueron significativos, se realizaron contrastes para comparar medias. Se realizaron análisis de regresión para evaluar la asociación entre distintas variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En todos los sitios se observaron efectos significativos de la fertilización con nitrógeno, que mejoró la disponibilidad inicial de este elemento, sobre el contenido proteico. Cuanto mayor fue la disponibilidad de nitrógeno, mayor fue el contenido proteico (Fig. 1). Por otro lado, también se observó que no hay interacción significativa entre la disponibilidad de nitrógeno del suelo y la fracción sobre el contenido proteico.

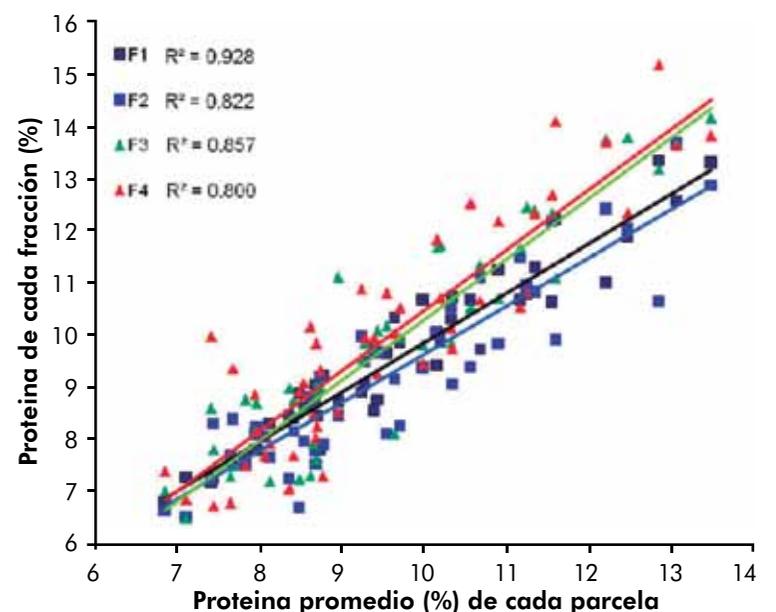
En Junín 2005 se observó una fuerte tendencia a que las fracciones 3 y 4 posean contenidos proteicos superiores a las fracciones 1 y 2, aunque éstas no fueran significativas (Fig. 3). En Junín 2006 y Baigorrita 2006, no se encontraron diferencias en el contenido proteico de las distintas fracciones. En cambio, en Junín 2008 se encontraron diferencias significativas entre fracciones, siendo las fracciones más pequeñas (3 y 4) las que registran un porcentaje mayor de proteína en grano.

Se encontró que con altos contenidos proteicos promedio las fracciones finas poseen un contenido proteico superior a las gruesas. En cambio, cuando el contenido proteico promedio fue bajo, no hubo diferencias significativas entre fracciones.

Con el fin de evaluar si las diferencias observadas entre el contenido proteico de fracciones finas y gruesas dependen del contenido proteico promedio, se realizó un análisis de regresión entre

Figura 2.

Porcentaje de proteína de cada fracción en función del porcentaje proteico de cada parcela.



el porcentaje de proteína de cada una de las fracciones (de cada parcela), en función del contenido proteico promedio de cada parcela (Fig.2).

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las pendientes de las rectas de las fracciones 1 y 2 respecto de las 3 y 4.

Como se puede observar, a bajos contenidos proteicos en grano no se observan diferencias entre los porcentajes de proteína de cada una de las fracciones. En cambio, a medida que el contenido proteico de los granos es mayor, se empieza a marcar una tendencia a que las fracciones más pequeñas (3 y 4) contengan un porcentaje de proteína superior a las fracciones 1 y 2. Con altos porcentajes de proteína en grano, las diferencias entre los contenidos proteicos de las fracciones 1 y 2 respecto de las 3 y 4 son significativas. Algo muy similar observó en otros trabajos en los que se separaron los granos según su lugar en la espiga (tercio apical, central y basal), lo cual guarda una estrecha relación con el tamaño del grano, siendo los granos apicales los más pequeños y los del centro los más grandes de la espiga. En este trabajo, se encontró que cuando el contenido proteico promedio de la espiga era alto (13%) los granos apicales poseían un contenido proteico superior a los del centro, mientras que cuando los contenidos proteicos promedio eran bajos (10%) todos los granos de la espiga tenían similares contenidos proteicos.

Por otro lado, para evaluar si las diferencias observadas entre el

contenido proteico de las fracciones finas y gruesas dependen del calibre, se realizó un análisis de regresión entre la diferencia en el contenido proteico de las fracciones más pequeñas respecto de las más grandes y el porcentaje de granos dentro del calibre comercial, compuesto por la suma de los porcentajes de las dos fracciones más grandes ($F1 + F2$), en todos los tratamientos para los 4 sitios. No se encontró ninguna asociación la diferencia de proteína de las fracciones grandes y pequeñas y el calibre comercial (fracciones mayores).

Como no existió una asociación significativa entre ambos, se concluye que las diferencias entre los contenidos proteicos de las fracciones finas y gruesas se debieron exclusivamente a la abundancia relativa de proteína nitrógeno en cada parcela (ambiente).

CONCLUSIÓN

Con altos contenidos proteicos promedio, los granos de las fracciones más pequeñas tuvieron un mayor porcentaje de proteína que los de las fracciones más grandes. Cuando el contenido proteico promedio fue bajo, distintas fracciones no presentaron diferencias en su porcentaje de proteína. Por lo tanto, se rechaza parcialmente la hipótesis que postulaba que “para un mismo ambiente los granos de distinto calibre no presentan diferentes contenidos proteicos”, ya que se observó que solo fue válida en ambientes con escasez relativa de nitrógeno.

SEMBRANDO
SATELITAL
El Canal del Campo

SEÑAL LIBRE Y GRATUITA

PÍDALO A SU OPERADOR DE CABLE LOCAL

TAMBIÉN EN VIVO LAS 24 HORAS POR

www.sembrando.com.ar

Victorino Rodríguez 1964 (X5009DSO) Tel. Fax. 0054 - 0351 - 4814381
Córdoba - Argentina E mail: sembrando@sembrando.com.ar

FERTILIZAR Novedades

El impacto de la fertilización con altas dosis en soja

En un encuentro con periodistas del sector, Jorge Bassi y Martín Díaz Zorita, Vicepresidente y Coordinador del Comité Técnico de la entidad respectivamente, compartieron sus perspectivas respecto de las condiciones y escenarios de la campaña de soja 2013-2014, junto al productor Joaquín Lagos, el Ing. Agr. Santiago Rodríguez Grastorf (asesor CREA Teodelina) y el Ing. Agr. Miguel Boxler (CREA Sur de Santa Fe).

El encargado de abrir el evento fue Jorge Bassi quien comenzó comentando que si bien en Argentina el cultivo que más usa fertilizante es la soja, este consumo está asociado a la cantidad de hectáreas cultivadas y no a un buen manejo de la fertilización, ya que se utilizan bajas dosis por lote. Esta situación de bajas dosis se ve agravada por la alta incidencia de la soja en la rotación, ya que cerca del 60% de la soja se realiza bajo monocultivo.

En este sentido, Bassi presentó los resultados de ensayos realizados en conjunto con técnicos del INTA 9 de Julio, INTA Pergamino, INTA Oliveros y UNRC en lotes de soja sobre antecesor soja en las últimas tres campañas. "Los datos demuestran que la dosis de "arrancador" normalmente utilizada por el productor es muy eficiente y rentable, pero que ya no alcanza para maximizar los rendimientos". Trabajando con dosis de reposición de fósforo (P) y azufre (S) - los principales nutrientes para la soja-, logramos aumentos de casi 500 kg/ha por encima de la práctica habitual del productor, por lo que estamos hablando de una práctica rentable para el productor que además mejora la sustentabilidad del sistema.

Los resultados fueron contundentes, se demostró el incremento del rendimiento en soja para dosis crecientes de fósforo con suficiencia de azufre. "Aplicando dosis altas de fósforo se logró incrementar en un 20 % la producción, alcanzando pasando de testigos de muy buen rendimiento (3300 kg/ha) a casi alcanzar los 4000 kilos por hectárea", señaló Bassi, logrando los mejores resultados con aplicaciones divididas, 70% al voleo anticipado y 30% como arrancador a la siembra. "Adelantar la fertilización es fundamental, ya que permite sacar peso de la sembradora y asegurar una buena implantación".



Luego, presentó la proyección de estos resultados a nivel nacional, basándose en el mapa de suelos del INTA Balcarce y señaló que "llegamos a la conclusión de que el 44% del área sembrada con soja presenta valores de fósforo menores a 15 ppm, que es la situación del ensayo". Así, Bassi destacó que, duplicando las dosis de fósforo y azufre, se pueden lograr 3.471.900 toneladas más de soja a nivel país, lo que se traduciría en 1.820 millones de dólares de divisas adicionales para el país y un incremento del dinero recaudado por retenciones de 637 millones de dólares.

Para finalizar, Bassi mencionó que existe otro factor favorable para incorporar más tecnología a la soja en esta campaña. Se trata de la relación insumo/ producto (kg de soja necesarios para comprar 1 kg de fósforo), que es muy favorable este año.

Por su parte, el Ing. Agr. Martín Díaz Zorita, Coordinador del Comité Técnico de Fertilizar, se refirió al manejo eficiente de la fertilización en soja, señalando a los principales nutrientes para soja al N (nitrógeno), P (fósforo) y S (azufre) y en algunas regiones, microelementos como el boro. El especialista continuó mencionando los niveles de fósforo existentes en Argentina que disminuyen por la gran extracción de nutrientes. Así, señaló que si bien el 44 % del área de soja tiene niveles de fósforo insuficientes si se pretende alcanzar máximos rendimientos, este número asciende a 70% en zona núcleo. Por último, Díaz Zorita habló del manejo integral de nutrientes, dando algunas pautas para cada ello.

Luego, Joaquín Lagos compartió su estrategia de manejo y los Ing. Agr. Santiago Rodríguez Grastorf (asesor CREA Teodelina) y Miguel Boxler (CREA Sur de Santa Fe) presentaron un ensayo de soja de alta producción realizado en un campo de Joaquín Lagos, donde se alcanzaron rendimientos de alrededor de 7500 kg/ha.



FERTILIZAR Novedades

Perspectivas para la campaña de maíz 2013-2014

En septiembre, en un evento realizado en la localidad de Campana con prensa, Fertilizar analizó la campaña de maíz 2013/ 2014 y sus estrategias de fertilización, destacando el rol clave de este cultivo en un sistema productivo sustentable. Para la entidad, sembrar maíz es importante por la creciente demanda a nivel mundial, el aumento de la demanda local y por los beneficios del margen de la rotación y en la conservación del suelo.

A modo de introducción, Victor Accastello, Vicepresidente 1° de la entidad, se refirió a la evolución del consumo de fertilizantes para los principales cultivos a nivel país, manifestando que para 2013 se estima una demanda similar a la del 2012, de aproximadamente 3.19 millones de toneladas.

En cuanto al maíz, desde Fertilizar presentaron un estudio propio realizado en la primera quincena de agosto de 2013 que refleja que el área sembrada de este cultivo se mantendría estable respecto a la campaña anterior, e indicaron que es uno de los cultivos donde mejor se aplica el paquete tecnológico de fertilizantes. Y cuando esto sucede, en situaciones con humedad adecuada, se logran expresar los potenciales de rendimientos en todas las zonas.

En este contexto, Accastello se refirió a la relación insumo - producto (precios de fertilizantes en relación al precio del maíz), en referencia a Urea y MAP -Fosfato Monoamónico-, que sería levemente inferior a la campaña precedente y manifestó que el precio de los fertilizantes acompañaron la tendencia bajista del precio del maíz.

¿Cómo hacer maíz?

Desde Fertilizar destacaron como primer paso realizar un buen diagnóstico. En este sentido, Accastello comentó que hoy sólo el 25% del área cultivada tiene un análisis de suelo. "Un buen diagnóstico de nuestro campo nos permitirá adecuar y optimizar la estrategia de fertilización", señaló y afirmó que "fertilizar es el mejor negocio". Así, comentó que fertilizando se pueden obtener 11000 kilos de maíz versus 7000 kilos en planteos sin fertilizar.

Luego, el Ing. Agr. Manuel Ferrari del INTA Pergamino también se refirió a la importancia del cultivo del maíz en la rotación en pos de una agricultura sustentable, tanto en términos productivos y ambientales como

económicos y sociales.

Si bien se ha evolucionado muy favorablemente en lo que es siembra directa y fertilización, aún falta devolverle al suelo una mayor proporción de nutrientes de la que le estamos quitando, expresó, y añadió: "el cultivo que más rinde, es el que más extrae". En este sentido, el ingeniero comentó que el trigo y el maíz aportan un abundante rastrojo, de alta relación C:N (perdurabilidad) y uniformemente distribuido en el caso del trigo; aumentan la eficiencia de uso del agua en el suelo y disminuyen los procesos de erosión; incorporan una importante cantidad de biomasa de raíces; y mejoran el balance de Carbono en el suelo y las propiedades químicas (fertilidad), físicas (estructura) y biológicas asociadas a la materia orgánica. "Un exceso de soja en la secuencia de cultivos ocasiona diversos efectos perjudiciales para la conservación del suelo. Por su nivel de importancia, merecen destacarse dos: el balance de carbono negativo y el balance de nitrógeno negativo", manifestó.

También señaló que una adecuada nutrición del maíz constituye un aspecto clave para lograr altos rendimientos de grano y optimizar los resultados económicos del cultivo. Para esto es clave aplicar las mejores prácticas de manejo para la fertilización de cultivos: aplicar la dosis de nutriente correcta, empleando la fuente, el momento y la localización apropiados en cada caso.

El rol de las gramíneas

El evento contempló una recorrida a campo donde la AER INTA San Antonio de Areco realiza diferentes ensayos en la unidad demostrativa "La Fe", a cargo del ingeniero agrónomo Fernando Mousegne. Allí se realizan distintos ensayos cuyos resultados se transmiten a los técnicos y productores con el fin de promover la adopción de tecnología y difundir la importancia de rotación de cultivos. En esta oportunidad, se observaron también planteos de fertilización en trigo y cebada. "El uso eficiente de nitrógeno en los cultivos de trigo y cebada hace mucho más rentable la producción y por lo tanto, la incorporación en la rotación", agregó el Ingeniero.

Otro de los temas tratados en el encuentro fue el proceso de producción de fertilizantes a través de la visita al Complejo Industrial de la localidad de Campana donde se realizan fertilizantes nitrogenados, potásicos y azufrados.



MI PRIMER ARTÍCULO

JOSEFINA LUISA DE PAEPE Y
ROBERTO ÁLVAREZ

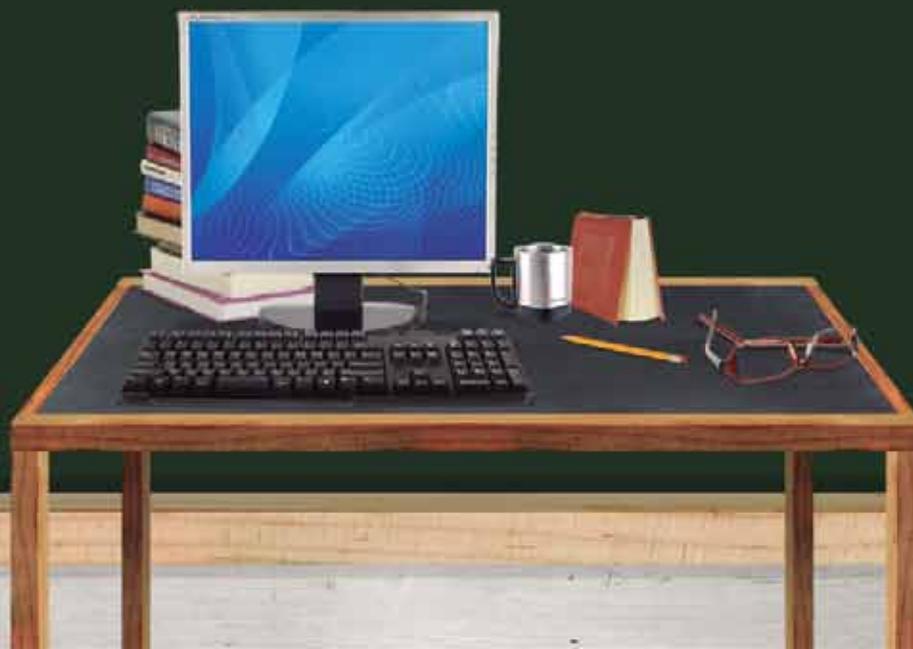
Elaboración de un índice regional de productividad de suelo aplicando la metodología de redes neuronales artificiales¹

RESUMEN

Los índices de productividad del suelo representan calificaciones del potencial de producción de biomasa vegetal de los suelos. Enfoques inductivos determinan la productividad basada en los efectos inferidos de las propiedades del suelo sobre el rendimiento. Por el contrario, los enfoques deductivos utilizan la información de rendimiento para estimar la productividad. Nuestro objetivo fue comparar la performance de ambos tipos de índices de productividad para evaluar la productividad edáfica regional para el trigo rendimiento (*Triticum Aestivum* L.) en la Región Pampeana. Se utilizaron los datos de suelo de Mapas de suelo y muestreos e información climática interpolada. Se utilizaron los datos de rendimiento de trigo para un período de 40 años y para un área de 45 Mha. El índice de productividad inductivo de la FAO testeado mostró una baja correlación con el rendimiento observado ($R^2 < 0,45$, $P = 0,05$). Las metodologías empíricas utilizadas para la generación de un índice de productividad deductivo fueron: regresión polinó-

mica, árbol de regresión y redes neuronales artificiales (RNA). Con el enfoque de RNA lo logró una buena performance ($R^2 = 0.614$, raíz cuadrada del error medio = 548 kg ha⁻¹) y este modelo fue utilizado para el desarrollo de índice productividad regional. Su validación con promedios del rendimiento observado fue óptima ($R^2 = 0,728$, $P = 0,05$) y este índice se podría extrapolar a los suelos para los cuales los datos de rendimiento no están disponibles. La productividad regional más alta se alcanzó para las combinaciones de niveles de carbono orgánico y capacidad de almacenamiento de agua útil (CAAU) del suelo medias a altas. Estas variables edáficas mostraron una interacción positiva. La metodología desarrollada para la evaluación de la productividad del suelo basado el método empírico de redes neuronales artificiales se puede aplicar en otras regiones del mundo y para diferentes cultivos.

¹ Trabajo basado en el artículo publicado en *Agronomy Journal*: Josefina L. De Paepe y R. Álvarez. 2013. Development of a Regional Soil Productivity Index Using an Artificial Neural Network Approach. *Agronomy Journal* 105:1-11.



INTRODUCCIÓN

La productividad del suelo se puede definir como la capacidad del mismo de producir biomasa vegetal o semilla de cosecha (Yang et al., 2003). Es importante entender y cuantificar la misma, ya que está relacionada al rendimiento de cultivos. Un índice de productividad de suelo representa el potencial de un suelo en particular de producir cierta cantidad de cosecha por hectárea y por año (Huddleston, 1984).

El enfoque inductivo intenta determinar la productividad de un suelo basado únicamente en los efectos inferidos de diversas propiedades de suelo sobre el rendimiento (Huddleston, 1984). De esta manera, las calificaciones numéricas se desarrollan sin el uso de los datos de rendimiento, pero a posteriori pueden ser calibrados o validados con información del rendimiento de cultivos en regiones determinadas. La FAO (Riquier et al., 1970) desarrolló un índice de productividad inductivo que a pesar de requerir mucha información detallada, ha sido aplicado en algunos países y para algunos cultivos obteniendo buenos resultados. En Argentina se ha aplicado ésta a los perfiles descritos en los Mapas de suelo de INTA (GeoINTA, 2013).

Los índices de productividad deductivos se pueden generar mediante la aplicación de modelos empíricos del rendimiento de cultivos y por lo tanto son validados directamente con estos datos (Huddleston, 1984). Los modelos empíricos determinan relaciones funcionales de factores de suelo, clima y manejo con el rendimiento utilizando información existente o generada en experimentos agronómicos diseñados para dicho fin (Jame y Cutforth, 1996). Existen varios ejemplos de generación de índices de productividad deductivos para varios cultivos y en varias regiones (García-Paredes et al., 2000; Potgieter et al., 2005).

Debido a su extensión y potencial de rendimiento la Región Pampeana es considerada una de las principales regiones de producción de cereales del mundo (Satorre y Slafer, 1999). A nivel regional el uso de redes neuronales artificiales (RNA) para modelar el rendimiento de trigo tuvo una mejor performance que modelos de regresión comunes (Álvarez, 2009). Las RNA son técnicas de modelización basados en la estructura neuronal y el procesamiento del cerebro, y es capaz de detectar relaciones intrínsecas del set de datos (Jorgensen y Bendoricchio, 2001). A escala regional pocos modelos empíricos han evaluado la relación entre las propiedades del suelo y el trigo (Verón et al., 2004; Álvarez 2009). No existen estudios que analicen la interacción entre las variables del suelo y la interacción de estas propiedades edáficas con las características climáticas regionales.

Nuestro objetivo fue comparar el índice de productividad inductivo de la FAO con un índice deductivo para la evaluación de la productividad regional de suelo con respecto al rendimiento de trigo a escala regional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

En la actualidad, aproximadamente el 60% de la superficie de la Región Pampeana está bajo uso agrícola y los principales cultivos son soja, trigo y maíz (MinAgri, 2013).

Se utilizó información de más de 150 partidos de las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos, La Pampa y Santa Fe en los que el cultivo de trigo es un componente importante de la rotación. La información de los partidos fue integrada a la escala unidad geográfica de una superficie promedio de $1 \pm 0,5$ Mha (**Figura 1**).

Base de datos

Datos de rendimiento de trigo en la escala partido se calcularon a partir registros disponibles de la superficie cultivada anualmente y la producción de cereales

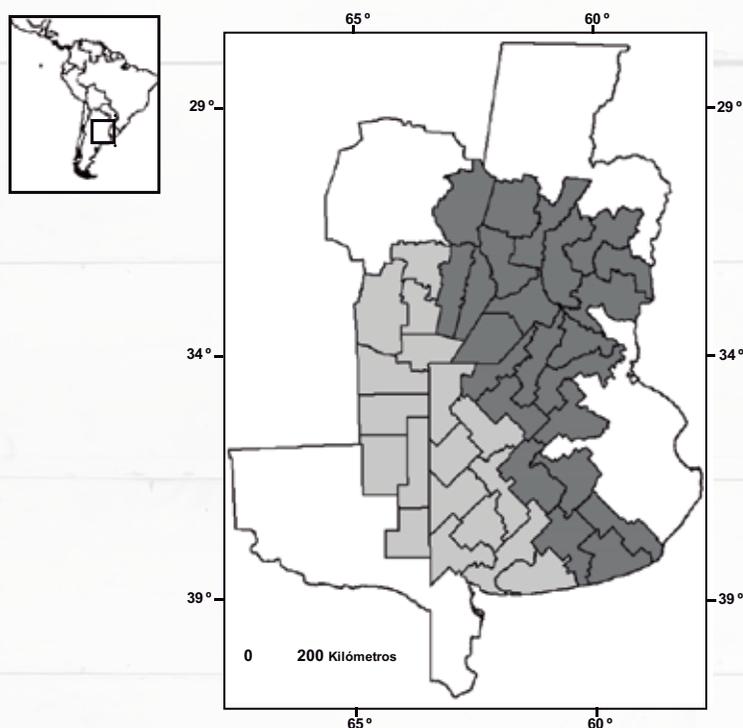
para el período 1967-2006 (MinAgri, 2013).

Los registros climáticos para el mismo período se obtuvieron del Servicio Meteorológico Nacional y el INTA. La información de la temperatura mensual y la precipitación de aproximadamente 80 estaciones meteorológicas, distribuidos en y alrededor del área estudiada fue utilizada para estimar promedios mensuales por partido a través del método de interpolación inverso a la distancia (De Paepe y Alvarez, 2013). Se estimaron la evapotranspiración potencial (ETP) y el coeficiente fototérmico (CF) durante el período crítico.

Se realizó una integración a escala partido de las descripciones de los perfiles descritos y publicados en los Mapas de suelo de INTA de las provincias mencionadas (INTA; 1980, 1981, 1984, 1989a y b, 2003). Las variables edáficas integradas fueron: carbono orgánico, composición textural, pH, profundidad del suelo hasta 1m o hasta el límite

Figura 1.

Mapa de la Región Pampeana y ubicación geográfica de las 41 unidades geográficas. La isohieta de precipitación anual de 800 mm divide a la región en partidos húmedos (colores oscuros) hacia el este y semiáridos hacia el oeste (colores claros). Redibujado a partir de De Paepe y Álvarez (2013).



superior del horizonte petrocálcico. Se estimó la capacidad de almacenamiento de agua útil (CAAU) según Rawls et al. (1982). Para los datos por partido de carbono orgánico recientes se utilizó información resultante de un muestreo reciente (Berhongaray et al., 2013).

Índices de productividad inductivo (FAO) y deductivo

La información del índice de productividad de la FAO fue integrada a escala unidad geográfica como se describe en De Paepe y Álvarez (2013).

Se aplicaron tres metodologías de modelización empírica: regresión polinómica, AR y RNA. El conjunto de datos total fue de 1640 ($n = 41$ unidades geográficas \times 40 años). Para evaluar la capacidad de generalización de los modelos regionales se trabajó con un set de entrenamiento para generar el modelo regional (correspondiente al 75 % del total de datos) y se validaron los resultados con un set de datos independiente (correspondiente al 25 % del total).

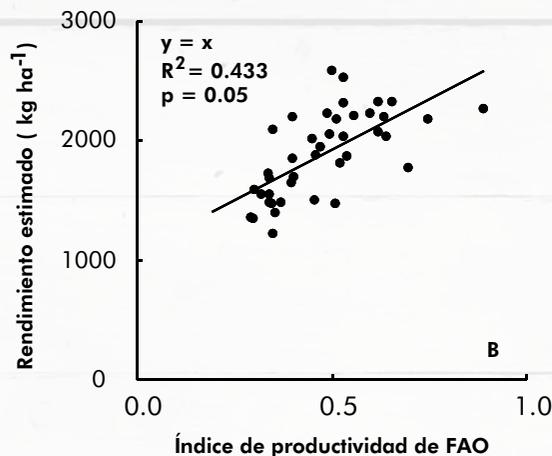
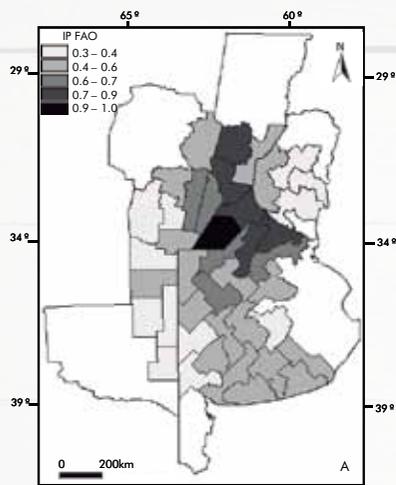


Figura 2. (A)

Distribución espacial del índice de productividad del suelo inductivo basado en la metodología de la FAO para las unidades geográficas de la Región Pampeana y (B) de regresión entre el índice de productividad de la FAO y el rendimiento promedio de trigo de 1967-2006 por unidad geográfica. Redibujado a partir de De Paepe y Álvarez (2013).

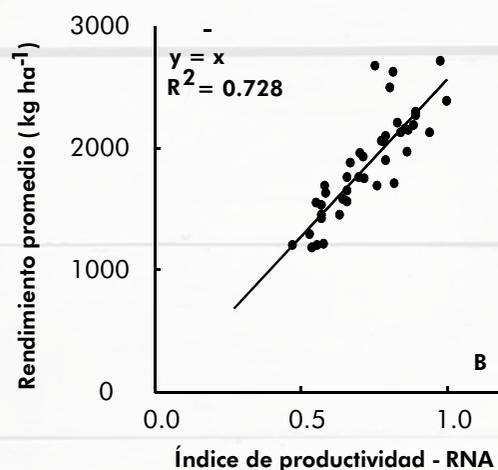
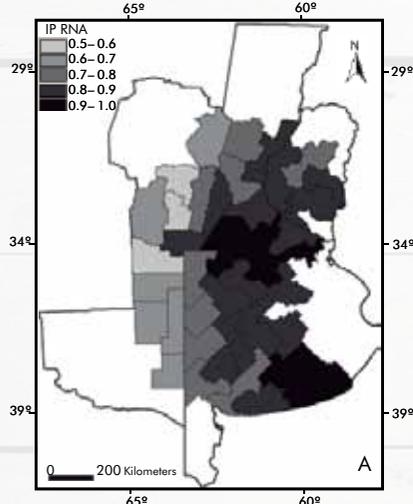


Figura 3. (A)

Distribución espacial del índice de productividad del suelo deductivo basado en la metodología de la RNA para las unidades geográficas de la Región Pampeana y (B) regresión entre el índice de productividad-RNA y el rendimiento promedio de trigo de 1967-2006. Redibujado a partir de De Paepe y Álvarez (2013).

34

Tabla 1.

Variabilidad de clima, suelo y rendimiento en las 41 unidades geográficas de la Región Pampeana para el período 1967-2006. Los valores mínimos y máximos se calcularon a partir del conjunto de datos total para el período de 40 años. Resumen de De Paepe y Álvarez (2013).

Variable	Unidad	Mínimo	Promedio ± DE	Máximo
Precipitación durante barbecho	mm	21.3	161 ± 77.8	555
Precipitación durante fase vegetativa	mm	11.6	113 ± 57.0	379
Precipitación durante floración	mm	56.0	196 ± 71.2	486
Temperatura durante barbecho	°C	8.14	13.1 ± 1.55	17.3
Temperatura durante fase vegetativa	°C	7.7	11.3 ± 1.54	16.0
Precipitación durante floración	°C	12.3	17.9 ± 1.62	21.5
ETP durante barbecho	mm	73.9	130 ± 13.7	175
ETP durante fase vegetativa	mm	77.8	134 ± 14.4	191
ETP durante floración	mm	185	305 ± 29.3	412
Precipitación/ETP durante barbecho		0.150	1.26 ± 0.677	4.340
Precipitación/ETP durante fase vegetativa		0.071	0.887 ± 0.554	3.680
Precipitación/ETP durante floración		0.136	0.653 ± 0.281	1.620
	MJ m⁻² d⁻¹			
Coefficiente fototérmico ¹	°C ⁻¹	0.93	1.37 ± 0.22	2.05
Profundidad de suelo ²	cm	73	92.5 ± 7.32	100
Arcilla ²	%	10.2	26.5 ± 9.93	49.0
Arena ²	%	6.26	42.3 ± 24.3	88.7
CAAU ²	mm	91.3	138 ± 33.1	192
Carbono orgánico ³	t ha ⁻¹	31.0	64.5 ± 17.4	109
Rendimiento de trigo	kg ha ⁻¹	448	1886 ± 695	4519

DE= desvío estándar. ETP= evapotranspiración potencial del cultivo de trigo. CAAU= capacidad de almacenamiento de agua útil.

¹ durante el período crítico de un mes antes de antesis.

² hasta una profundidad de 0-100 cm o hasta el límite superior de la capa petrocálcica en caso de presentarse.

³ contenido estimado para una profundidad de 0-50 cm del perfil de suelo.

RESULTADOS

Se observó una gran variabilidad espacial y temporal en las variables climáticas, edáficas y en el rendimiento de trigo (**Tabla 1**).

La distribución espacial del índice de productividad de la FAO mostró que los valores mayores a 0.7 se obtuvieron en seis unidades geográficas de la pampa húmeda (**Figura 2A**) y varió de 0.33 a 0.89 ($R^2 = 0.433$) (**Figura 2B**).

Los tres métodos empíricos comparados obtuvieron buenos ajustes ($R^2 > 0.528$,

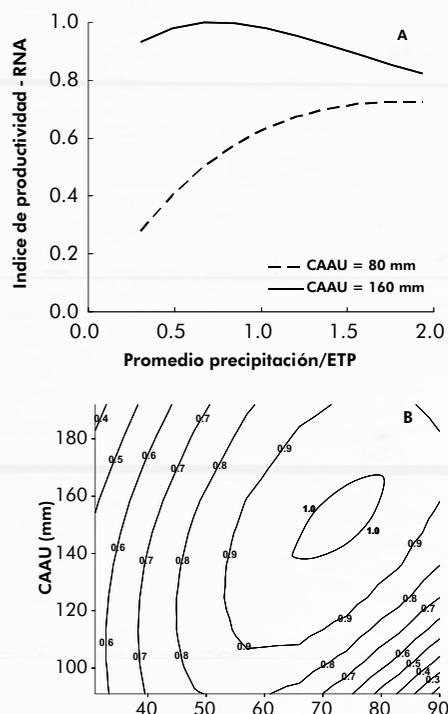
raíz cuadrada del error medio $\leq 547\text{kg ha}^{-1}$) (De Paepe y Álvarez, 2013). Debido a que el modelo basado en la RNA alcanza un ajuste ligeramente más alto, aunque no significativamente, que el método de AR, fue utilizado para la generación de un índice de productividad. Las variables detectadas por el modelo de RNA fueron: precipitación/ETP durante barbecho, fase vegetativa y floración, CF, carbono orgánico de 0-50cm y CAAU hasta 1m de profundidad. La distribución espacial del índice de productividad muestra valores mayores en la Pampa Ondulada y el sur de Buenos Aires (**Figura 3A**) y varía de 0.30-1.0 ($R^2 = 0.728$) (**Figura 3B**).

El modelo de RNA fue utilizado para explorar los efectos de los factores ambientales sobre el rendimiento de trigo y para predecir la productividad para combinaciones de variables. El modelo mostró que la CAAU tuvo un impacto significativo sobre el rendimiento bajo escenarios semiáridos pampeanos (**Figura 4A**). La interacción entre el contenido de carbono orgánico y la CAAU fue positiva alcanzando una productividad óptima en suelos con 70 t ha⁻¹ y 140 mm respectivamente (**Figura 4B**).

CONCLUSION

Los resultados muestran que el índice de productividad inductivo de la FAO utilizado comúnmente en Argentina no fue una herramienta adecuada para generar cuantificaciones regionales de la productividad

Figura 4. (A) Índice de productividad basado en una RNA para el rango promedio de precipitación/evapotranspiración (ETP) para un suelo característico de la pampa húmeda (CAAU = 160 mm) y la semiárida (CAAU = 80 mm) y (B) interacción entre carbono orgánico y la CAAU ambas variables seleccionadas como variables edáficas en el modelo de RNA y el índice de productividad resultante. Redibujado a partir de De Paepe y Álvarez (2013).



de suelos pampeanos con respecto al rendimiento de trigo. El índice de productividad deductivo basado en la metodología de la RNA además de permitir el análisis de interacciones entre variables edáficas y climáticas a escala regional permite evaluar la productividad de áreas para las cuáles no se cuenta con datos de rendimiento pasado.

Observamos que cuanto más complejo el modelo estadístico más efectos de variables ambientales fueron detectados. Según el índice de productividad desarrollado, los efectos de carbono orgánico y CAAU sobre el rendimiento de trigo fueron positivos e interaccionan. Este índice muestra algunos resultados no esperados como disminuciones en la productividad predicha en suelos con texturas finas en combinación con índices climáticos de precipitación/ETP elevados posiblemente atribuible a problemas por enfermedades (Annone, 2001). Efectos confundidos entre variables ambientales son problemas comunes de la modelización del rendimiento de cultivos y por este motivo es importante tener precauciones al interpretarlos (Bakker et al., 2005).

REFERENCIAS

- Alvarez, R. 2009. Predicting average regional yield and production of wheat in the Argentine Pampas by an artificial neural network approach. *Eur. J. Agron.* 30:70-77.
- Annone, J.G. 2001. Criterios empleados para la toma de decisiones en el uso de fungicidas en trigo. *Rev. Tecnol. Agropecu.* 6:16-20.
- Bakker, M.M., G. Govers, F. Ewert, M. Rounsevell, y R. Jones. 2005. Variability in regional wheat yields as a function of climate, soil and economic variables: Assessing the risk of confounding. *Agric. Ecosyst. Environ.* 110:195-209.
- Berhongaray, G., R. Alvarez, J. De Paepe, C. Caride, y R. Cantet. 2013. Land use effects on soil carbon in the Argentine Pampas. *Geoderma* 192:97-110.
- De Paepe J.L. y R. Álvarez, 2013. Development of a Regional Soil Productivity Index Using an Artificial Neural Network Approach. 2013. En prensa.
- García-Paredes, J.D., K.R. Olson y J.M. Lang. 2000. Predicting corn and soybean productivity for Illinois soils. *Agric. Syst.* 64:151-170.
- Huddleston, J.H. 1984. Development and use of soil productivity ratings in the United States. *Geoderma* 32:297-317.
- INTA, 2003. Recursos naturales de la Provincia de Córdoba. INTA, Buenos Aires.
- INTA. 1980. Inventario integrado de los recursos naturales de la provincia de La Pampa. INTA, Buenos Aires.
- INTA. 1981. Mapa de suelos de la provincia de Santa Fe, Parte I. INTA, Buenos Aires.
- INTA. 1984. Suelos y erosión de la provincia de Entre Ríos. INTA-EEA, Entre Ríos, Paraná, Argentina.
- INTA. 1989a. Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires. INTA, Buenos Aires.
- INTA. 1989b. Mapa de suelos de la provincia de Santa Fe, Parte II. INTA, Buenos Aires.
- Jame, Y.W. y H.W. Cutforth. 1996. Crop growth models for decision support systems. *Can. J. Plant Sci.* 76:9-19.
- Jorgensen, S. y G. Bendricchio. 2001. Fundamentals of ecological modelling. 3rd ed. Elsevier, Amsterdam.
- Potgieter, A.B., G.L. Hammer, A. Doherty y P. de Voil. 2005. A simple regional-scale model for forecasting sorghum yield across north-eastern Australia. *Agric. For. Meteorol.* 132:143-153.
- Riquier, J., D. Bramao y J. Cornet. 1970. A new system of soil appraisal in terms of actual and potential productivity.
- Satorre, E., y G. Slafer. 1999. Wheat production systems of the Pampas. En: E. Satorre and G. Slafer, editors, *Wheat: Ecology and physiology of yield determination*. Hayworth Press, Binghamton, NY. p. 333-348.
- Verón, S.R., J.M. Paruelo y G.A. Slafer. 2004. Interannual variability of wheat yield in the Argentine Pampas during the 20th century. *Agric. Ecosyst. Environ.* 103:177-190.
- www.GeoINTA.INTA.gov.ar
- www.MinAgri.gob.ar
- Yang, J., R. Hammer, A. Thompson, y R. Planchar. 2003. Predicting soybean yield in a dry and wet year using a soil productivity index. *Plant Soil* 250:175-182.

!!!Nos mudamos!!!



*A partir del 7 de junio de 2013,
las nuevas oficinas de Fertilizar Asociación Civil
se encuentran en Bartolomé Mitre 1332 – 4to piso (C1036AAZ),
manteniendo la misma línea telefónica.*

*(54-11) 4382-2413
info@fertilizar.org.ar*



FERTILIZAR

ASOCIACION CIVIL

www.fertilizar.org.ar