Fertilización foliar de soja

Resultados de tres años de evaluación de aplicaciones de micronutrientes

Los micronutrientes son elementos esenciales para el crecimiento y la reproducción vegetal. A diferencia de los macronutrientes, tales como el nitrógeno, fósforo o potasio, el cultivo los requiere en cantidades muy pequeñas. La fertilización con soluciones de micronutrientes puede realizarse con aplicaciones al suelo, a la semilla o en forma foliar. Esta última es más conveniente cuando las condiciones de absorción desde el suelo son adversas, en casos de sequía, encharcamiento o temperaturas extremas. En general, se acepta que, en esos casos, la aplicación foliar de formulaciones adecuadas presenta mayor tasa de absorción y bajas cantidades del nutriente pueden tener efectos positivos sobre el cultivo.

Por lo general, en la región pampeana, la oferta de micronutrientes del suelo supera los requerimientos de los cultivos extensivos. Por esta razón, la fertilización con soluciones con estos elementos no es una práctica habitual en los sistemas de producción extensivos de la región. Sin embargo, se han detectado deficiencias en análisis de tejidos de cultivos y, el aumento de rendimiento de los cultivos, la exportación y falta de reposición de los micronutrientes han ido determinando que aumenten las posibilidades de respuesta a su agregado. Además, estos nutrientes juegan un papel importante en muchos procesos fisiológicos y las condiciones de stress pueden reducir su concentración en los tejidos de las plantas. Por ello, este trabajo, realizado mediante un convenio entre AACREA y yara argentina SA, tuvo como objetivo explorar las posibles respuestas a aplicaciones foliares del uso de formulaciones con micronutrientes en cultivos extensivos de soja de la región pampeana, estableciendo fundamentos para el diagnóstico y manejo de la tecnología. El trabajo resume los resultados de tres años de ensayos conducidos en condiciones de campo en diez zonas del Movimiento CREA en los que se evaluó el efecto de la fertilización foliar de una solución de micronutrientes (Glytrac de YaraVita) sobre el rendimiento de soja.

METODOLOGÍA

En 10 zonas del movimiento CREA (Centro, Norte de Buenos Aires, Oeste, Oeste arenoso, Mar y Sierras, Litoral sur, Sur de Santa Fe, Córdoba Norte, Santa Fe Centro y NOA) se establecieron 33 ensayos simples sobre lotes comerciales de campos CREA a lo largo de las campañas 2009/10-2011/12. Al seleccionar los lotes se tuvo en cuenta la representatividad de la localidad evaluada y la practicidad y seguridad de conducción y cosecha de los ensayos. En cada ensayo, las variedades y fechas de siembra correspondieron a cultivos representativos en cada zona y, en todos los casos, el manejo de los cultivos en los ensayos respondió al buen manejo convencionalmente usado en cada establecimiento. En cada sitio, los ensayos se establecieron sobre un diseño experimental completamente aleatorizado con, al menos, dos repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron: **T1**: **Testigo** (sin aplicación de fertilizante foliar); y **T2**: **Sólo solución de micronutrientes** (con aplicación en dosis de 1,5 – 2 l/ha). El producto ensayado poseía 25 % de Calcio, 5 % de Boro, 10 % de Zinc y 7 % de Nitrógeno en peso/volumen y estaba formulado como una suspensión concentrada.

En todos los ensayos los tratamientos se aplicaron en el estado R3 (Fehr y Caviness, 1977), con aplicador terrestre y un volumen de entre100 y 120 litros de agua por hectárea. En cada ensayo, cada unidad experimental midió, aproximadamente 20 metros de ancho y 150 de largo. Durante la campaña 2010, además, en 3 ensayos de la región Norte de Buenos Aires el tratamiento se aplicó en R1, en R3 y también se llevó a cabo una doble aplicación (R1 + R3).

En cada ensayo se realizaron las siguientes determinaciones: (i) Sobre muestras de hojas del cultivo en R1, se llevó a cabo el análisis foliar de 12 nutrientes. Se tomaron muestras cosechando la última hoja expandida de 30 plantas en estado R1 en cada unidad experimental. Las muestras se analizaron en laboratorio. Las observaciones de nutrientes en tejido vegetal resultan de la integración de diversos factores, tales como suelo, clima, tipo de cultivo y manejo, permitiendo analizar con mejor precisión el estado nutricional del cultivo y detectar condiciones del cultivo que podrían ser utilizadas como base para el manejo de la tecnología; (ii) A madurez del cultivo, se determinó el rendimiento de cada tratamiento con cosecha mecánica. Los rendimientos se refirieron a 13,5% de humedad en grano; y (iii) En varios casos (ej. en la región Norte de Buenos Aires), se estimaron los componentes del rendimiento Peso y Número de granos y Número de vainas por planta. El peso de 1000 granos (con 13,5% de humedad), se determinó a través del recuento de 2 muestras de 500 granos. El número de granos por metro cuadrado y el número de vainas por planta se estimó a partir del recuento de estructuras de 15 plantas consecutivas elegidas al azar de un surco representativo de cada tratamiento.

Todos los resultados se sometieron a análisis estadístico (Análisis de varianza –ANVA) y la mínima diferencia significativa (DMS) se cálculo para la comparación de los valores promedios. Cuando fue requerido, se llevaron a cabo análisis de correlación lineal y regresión simple entre variables determinadas.

RESULTADOS

(i) Efecto de la aplicación en R3 sobre el rendimiento

El rango de rendimiento de soja explorado fue amplio entre ensayos (años y localidades). El mayor rinde se obtuvo en la localidad de Colón (5289 kg/ha en 2011) y el menor en Las Rosas (2089 kg/ha en 2012). En cada año de estudio, a madurez de los cultivos, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el rendimiento del tratamiento testigo (sin aplicación) y el del tratamiento con aplicación del fertilizante foliar en R3 ($P<0.05$). Los tratamientos T2 (con aplicación de solución) fueron superiores en 119, 119 y 92 kg/ha al del testigo sin aplicación en los años 2009, 2010 y 2011, respectivamente (Cuadro 1). La interacción entre tratamiento y localidad no fue estadísticamente significativa ($P>0.10$), indicando que, en el conjunto de los ensayos, el efecto del tratamiento tendió a ser independiente de la localidad estudiada.

Cuadro 1- Rendimiento de soja en cada tratamiento, en tres años de ensayo. Los valores son promedio de varias localidades de ensayo (ver número de ensayos). La diferencia mínima significativa entre tratamientos (DMS) es presentada.

	Rendimiento (kg/ha)		
Tratamiento	2009	2010	2011
Testigo	3606	3684	3245
Sólo Glytrac	3725	3803	3337
DMS (P<0,05)	80	92	57
Nº de ensayos	8	15	10

(ii) Respuesta y momento de aplicación en el Norte de Buenos Aires

Durante la campaña 2010, en cuatro localidades del Norte de Buenos Aires se evaluó además la aplicación de un tratamiento en R1 y una doble aplicación (R1+R3). En dos localidades se observó respuesta al tratamiento con solución de micronutrientes (Alberdi y San Antonio de Areco) mientras que en las localidades de Alberti y Colón no hubo diferencias significativas sobre el rendimiento entre ninguno de los tratamientos. Alberti y Colón fueron las localidades de mayor rendimiento promedio de la región (4898 kg/ha en Alberti; 5289 kg/ha en Colón). En las localidades donde se observó un efecto positivo de la aplicación foliar, Alberdi y San Antonio de Areco, los rendimientos promedios de soja fueron significativamente menores (4340 kg/ha y 3593 kg/ha, respectivamente). En estas dos localidades, se observó un efecto similar al aplicar el fertilizante foliar en R1 o en R3 (Cuadro 2). La realización de dos aplicaciones no aumentó el rendimiento por encima de las aplicaciones individuales.

Cuadro 2- Efecto de la aplicación foliar de una solución de micronutrientes en distintos momentos en dos localidades con respuesta del Norte de Buenos Aires.

Localidad	Tratamiento	**Rendimiento (kg/ha)**	
Alberdi	Sin aplicación	4181	a
	T1 (R1)	4352	b
	T2 (R3)	4409	b
	T3 (R1+R3)	4418	b
SanAArec	Sin aplicación	3505	a
	T1 (R1)	3654	b
	T2 (R3)	3610	b
	T3 (R1+R3)	3604	b
	DMS (P>0,05)	75	

(iii) Componentes del rendimiento y aplicación en el Norte de Buenos Aires.

En las cuatro localidades del Norte de Buenos en las que se llevaron a cabo ensayos durante la campaña 2010 se evaluó cuidadosamente el comportamiento de los distintos componentes del rendimiento frente a las aplicaciones. Los cultivos aplicados con la solución de micronutrientes incrementaron el número de granos, sin cambios en el peso de mil granos (Cuadro 3). Este mayor número de granos se debió, a su vez, a un mayor número de vainas fijadas por unidad de superficie. En promedio, se observó que cada planta tendió a fijar

alrededor de una vaina más (Cuadro 3) y, por lo tanto, los cultivos aplicados produjeron más vainas por unidad de superficie.

Cuadro 3- Componentes de rendimiento de cultivos de soja sin y con aplicación de una solución de micronutrientes en distintos momentos. Los resultados son promedio de 4 localidades del Norte de Buenos Aires en la campaña 2010. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas; ns indica sin diferencia significativa (P>0,10).

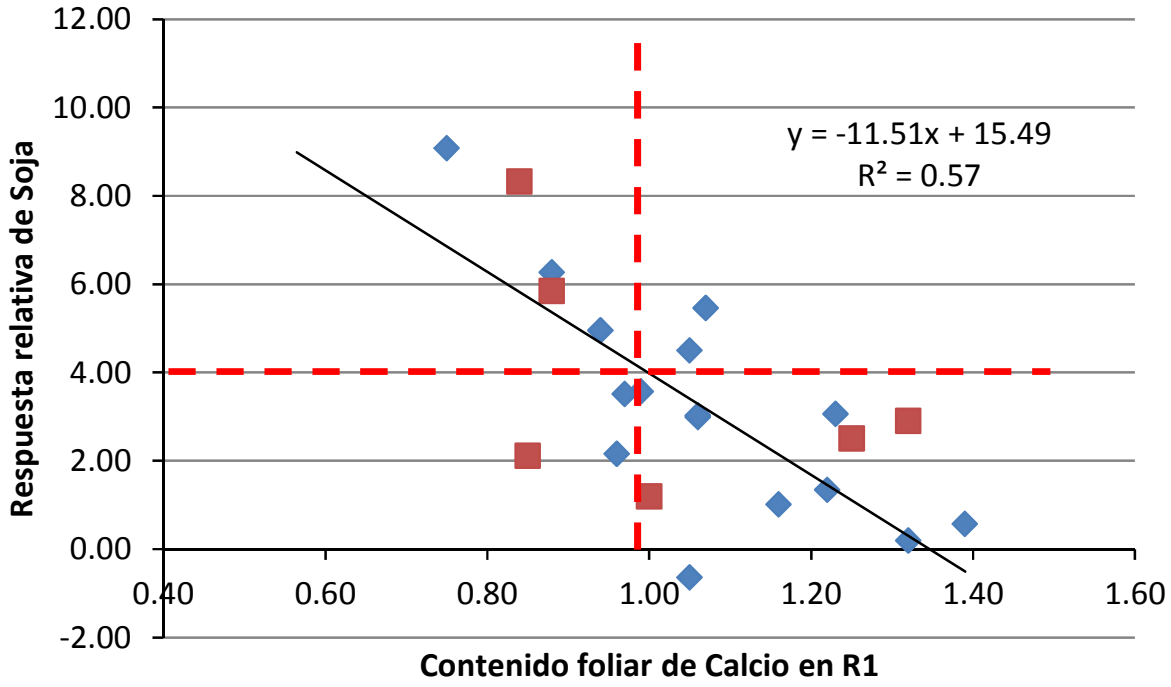
Tratamiento	**Granos (Nº/m^2)**		**Peso (g/1000gr)**		**Vainas (Nº/pl)**		**Plantas (Nº/m^2)**		**Vainas (Nº/m^2)**	
Sin aplicación	2610	a	173.6		34.0	a	37		1202	b
T1 (R1)	2642	b	173.8		34.6	b	37		1214	c
T2 (R3)	2653	b	173.9		34.8	b	37		1226	a
T3 (R1+R3)	2656	b	173.6		34.8	b	37		1227	a
LSD (P<0,05)	20		ns		0,3		ns		13	

(iv) Estado nutricional y respuesta a la aplicación

Para establecer una base de predicción e interpretación de los distintos efectos observados en el tratamiento con aplicación, se realizó un análisis de correlación lineal entre la condición nutricional de las plantas del cultivo previo a la aplicación del tratamiento (R1) y la respuesta obtenida en las distintas localidades y años (2009 y 2010) a la aplicación en R3. La respuesta relativa ([Rendimiento del tratado – Rendimiento del testigo]/ Rendimiento del testigo) a la aplicación del producto consistentemente se correlacionó significativa y negativamente sólo con el Calcio en hojas de los cultivos en el estado R1 (Figura 1).

Esta respuesta sugiere que el efecto del tratamiento foliar con micronutrientes es menor en la medida en que el contenido de calcio en las hojas del cultivo en R1 es mayor. Con valores cercanos a 1,2% de calcio foliar la respuesta tendió a ser nula pero, con valores menores a 1%, la respuesta tendió a valores superiores al 4% de incremento de rendimiento con la aplicación foliar (Figura 1). La validación independiente de la relación permite sugerir su uso como herramienta de diagnóstico para separar situaciones con mayor o menor probabilidad de respuesta. De hecho, el análisis por terciles de las respuestas encontradas en 22 ensayos con análisis foliar mostró que la probabilidad de respuesta aumenta marcadamente cuando el contenido de Ca foliar del cultivo disminuye (Cuadro 4); En cultivos con niveles medio de Calcio foliar en R1 de 0,85%, las respuesta relativa media a la aplicación fue de 6,55 % y 71 % de los resultados superaron respuestas del 5 % (Cuadro 4).

Figura 1- Relación entre respuesta relativa a la aplicación de fertilizante y concentración foliar de calcio en R1 para las campaña 2009 y 2010. Resultados de la campaña 2011 son presentados y usados como validación independiente de la relación obtenida.



Cuadro 4- Respuesta media relativa de soja (RTA %) a la aplicación foliar de una solución de micronutrientes, contenido de Calcio foliar en R1 (Ca %) y rendimiento medio de los cultivos de soja sin aplicación (RS kg/ha) en terciles ordenados por contenido de Calcio foliar.

TERCIL	Ca(%)	RTA (%)	RS (KG/HA)	% CASOS RTA >5,0%
INFERIOR	0,85	6,55	3123	71
MEDIO	1,02	4,09	3399	25
SUPERIOR	1,27	1,66	3781	0
SIGNIF	***	***	NS	
DMS (P<0,05)	0,07	2,25	840	

COMENTARIOS FINALES

La aplicación foliar de una solución de calcio, boro, zinc y nitrógeno en R3 mostró una respuesta media cercana a 1 qq/ha a lo largo de tres años de ensayo. Esa respuesta fue en general, independiente de la localidad, a pesar de que se exploró sobre cultivos en ambientes sobre un amplio rango de rendimientos (2100 – 5300 kg/ha). Sin embargo, un análisis más detallado de algunos resultados mostró que la probabilidad de tener una respuesta positiva y significativa a la aplicación tendió a ser mayor en cultivos sobre ambientes que favorecen valores intermedios de rinde (interacción tratamiento x localidad significativa). El análisis de resultados del Norte de la Provincia de Buenos Aires también demostró que el mayor rinde de

los cultivos aplicados se debió al mayor número de granos por unidad de superficie producidos por los cultivos, lo que estuvo asociado a la fijación de aproximadamente una vaina más por planta. La respuesta a la aplicación y las bases funcionales sobre la que esta se apoya fue similar, ya sea que la aplicación se realizara en R1 o en R3. Cabe destacar que no hubo beneficio adicional de realizar dos aplicaciones (R1 + R3), sugiriendo que la respuesta se saturaría.

La variación en respuesta entre localidades podría ser predicha por un modelo simple apoyado en el análisis foliar de Calcio del cultivo en R1. El análisis conjunto de las campañas 2009 y 2010 demostró que la concentración foliar en R1 de calcio estuvo negativamente correlacionada con la respuesta a la aplicación de fertilizante y los resultados de la campaña 2011 validaron aceptablemente esa relación. Estos resultados sugieren la posibilidad de usar la concentración de este nutriente en R1 como indicador de la probabilidad de respuesta a la aplicación en R3 para un uso racional de la tecnología en cultivos extensivos de nuestras principales regiones productivas.

Emilio H. Satorre[1] y Margarita González[2]
[1]Unidad de Investigación y Desarrollo, AACREA
Cátedra de Cereales, Facultad de Agronomía, UBA.
[2]Yara Argentina S.A.