

Informaciones Agronómicas

del Cono Sur



Instituto de la Potasa y el Fósforo

Potash & Phosphate Institute

Potash & Phosphate Institute of Canada

En este número:

Fertilizantes en la alimentación humana

Fósforo en maíz y soja en EE. UU.

Fósforo y azufre en el centro de Santa Fe

Fertilización de soja en Bolivia

Soja: Fertilizante en la línea

De la cantidad a la calidad:

La importancia de los fertilizantes en la alimentación humana

David W. Dobb¹, Terry L. Roberts¹ y R. M. Welch²

¹Potash and Phosphate Institute, Norcross, GA, USA.

²Laboratorio de Planta, Suelo y Nutrición, USDA-ARS, NY, USA.

ddobb@ppi-far-org

Presentado en el Simposio Internacional de Tecnológica de Información en Fertilidad de Suelos y Manejo de Fertilizantes. XV Coloquio Internacional de Nutrición de Plantas, Beijing, China, 14 y 15 de Septiembre de 2005.

El hambre en el mundo y la demanda de la agricultura

La malnutrición crónica está ampliamente distribuida en el mundo en desarrollo, y es una expresión del problema del hambre en el mundo. De acuerdo con las Naciones Unidas, 852 millones de personas, el 13% de la población mundial, era desnutrida en el periodo 2000-2002, con un 96% de este total en los países en desarrollo (FAO, 2004). Mientras que en los países en desarrollo, el número de desnutridos descendió aproximadamente en 9 millones desde 1990-92, la Cumbre Mundial de la Alimentación de 1996 fijó el objetivo de reducir el número de desnutridos a la mitad entre 1990 y 2015.

Además del desafío de reducir el hambre, se espera para los próximos 25 años un incremento del 28% de la población mundial, pasando de 6.8 billones a 8.3 billones, con lo cual se incrementará la demanda de productos agrícolas. La Tabla I resume las proyecciones del crecimiento de la población y otros indicadores de la demanda agrícola anticipada.



David Dobb, presidente de PPI/PPIC, visitando ensayos en Argentina con V. Gudelj (INTA M. Juárez) y A. Thomas (asesor privado) a izquierda, y Hugo Ghio (productor AAPRESID) a derecha.



Director: Dr. Fernando O. García
 INPOFOS Cono Sur
 Av. Santa Fe 910
 (B1641ABO) Acassuso – Argentina
 Tel/Fax (54) (011) 4798-9939
 E-mail: fgarcia@ppi-ppic.org
 Sitio Web: www.inpofos.org
www.ppi-ppic.org



Propietario: Potash and Phosphate Institute of Canada (PPIC)



ISSN 1666 - 7115
 No. de Registro de Propiedad Intelectual 222581

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

Contenido:

De la cantidad a la calidad: La importancia de los fertilizantes en la alimentación humana _____ 1

Criterios de fertilización fosfatada en sistemas de agricultura continua con maíz y soja en el cinturón del maíz _____ 9

Manejo del fósforo y el azufre en una secuencia de cultivos del centro de Santa Fe _____ 16

Fertilización con fósforo y con potasio en soja en la zona Norte-Integrada de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia _____ 19

Soja: Efecto de los fertilizantes aplicados en la línea de siembra sobre el número de plantas y el rendimiento _____ 23

Publicaciones de Inpofos _____ 26

Congresos, Cursos y Simposios _____ 27

Diseño e Impresión: www.agroeditorial.com.ar
amatthiess@amatthiess.com.ar

La producción de cereales ha intentado mantenerse a la par del incremento lineal del consumo y, aunque con algunas variaciones, ha aumentado sostenidamente. Por primera vez en casi una década, se predice que la producción de cereales 2004/05 superará al consumo en al menos 2% (Figura 1).

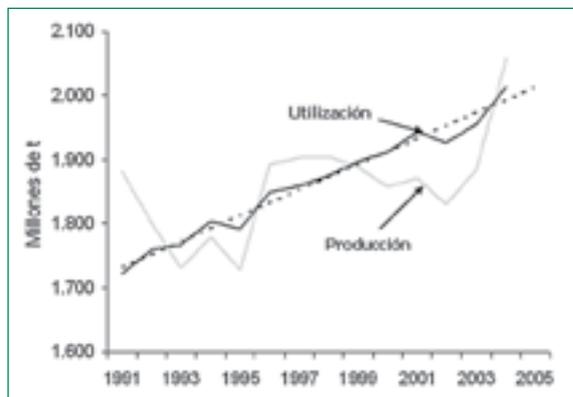


Figura 1. Producción mundial de cereales (trigo, granos gruesos, arroz) y consumo (FAO, 2005).

El Dr. David W. Dibb, actual Presidente del Potash and Phosphate Institute (PPI), se retirará el 1 de Enero de 2006 luego de una prolifera carrera de 30 años en el Instituto y de 17 años como Presidente del mismo.

El Dr. Dibb lideró exitosamente el Instituto en tiempos de cambios significativos en la agricultura y la industria de fertilizantes.

El Dr. Dibb se graduó como agrónomo en Brigham Young University en 1970 y obtuvo su Ph.D. en 1974 en la Universidad de Illinois. Como Presidente de PPI dirigió el establecimiento de nuevas oficinas internacionales en el Norte de Latinoamérica, México y América Central, India y el cono Sur de Latinoamérica. Entre las iniciativas, prácticas y programas del Instituto que lideró se pueden mencionar: investigación para máximo rendimiento y máximo rendimiento económico (MYR y MEY), análisis de suelos y plantas, absorción y remoción de nutrientes por los cultivos, balance de nutrientes, agricultura de precisión, manejo sitio-específico de nutrientes, programa Certified Crop Adviser (CCA) a nivel internacional, aspectos ambientales, y calidad de alimentos.



David ha sido un gran amigo de Latinoamérica desde su juventud y como Coordinador de los programas regionales del Instituto en la región. Su liderazgo, calidad humana y ética moral y profesional son altamente valoradas por todos aquellos que hemos tenido la oportunidad de trabajar o interactuar con él.

La producción global de cereales esta estrechamente relacionada con el consumo de fertilizantes (Figura 2). El consumo de fertilizantes creció cerca de un 12% en los últimos 5 años, comparado con el 11% del crecimiento del cereal. La producción de cereales y el consumo de fertilizantes se favorecen con condiciones climáticas favorables, precios altos de las *commodities*, y otros factores económicos y políticos.

El incremento actual o futuro de la producción de cereales no sería posible sin fertilizantes comerciales. Una revisión reciente de estudios a largo plazo en EE.UU, Inglaterra y Latinoamérica indica que, al menos, un 30-50% del rendimiento es atribuible al fertilizante comercial (Stewart et al., 2005). La revisión incluyó 362 ciclos de cultivo y mostró que la contribución promedio de rendimiento a tribuible a los fertilizantes varió entre 40 y 60% en EE.UU. e Inglaterra y fue mucho mayor en los países tropicales. En la Figura 3 se compara la contribución porcentual promedio de fertilizantes y encalado al rendimiento de los cultivos en regiones templadas y tropicales según Stewart et al. (2005).

Los fertilizantes realizan una contribución de importancia en la producción de alimentos y lo seguirán haciendo en el futuro, en la medida que se incremente la demanda de producción de cultivos. Una adecuada fertilización también puede mejorar la calidad y nutrición del cultivo, impactando la nutrición humana.

Nutrición humana, calidad del cultivo y fertilización

La baja ingestión de micronutrientes afecta a 3 billones de personas en el mundo entero (Welch y Gram, 2004). Ello es debido a dietas pobres de calidad, ricas en su mayoría en alimentos primarios (trigo, maíz y arroz), pero pobres en alimentos diversos (frutas, legumbres, vegetales y productos animales y pescados). Los alimentos diversos son fuentes más ricas en minerales biodisponibles y vitaminas. Se requieren al menos 50 nutrientes en la dieta humana: agua, carbohidratos,

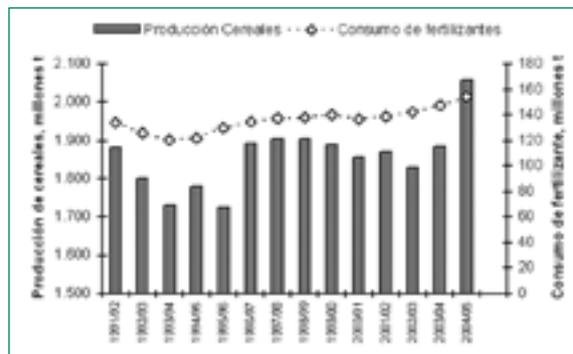


Figura 2. Producción mundial de cereales y consumo de fertilizantes (N+P₂O₅+K₂O) (FAOSTAT, 2005; IFA Statistics Online, 2005; Heffer, 2005).

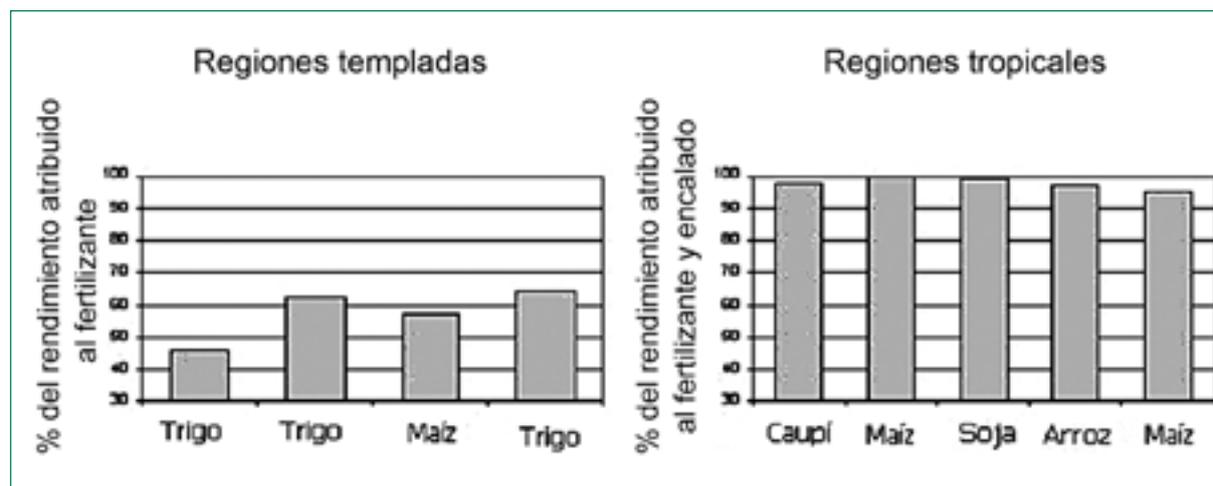


Figura 3. Contribución promedio de fertilizantes NPK y encalado (trópico), al rendimiento en estudios de largo plazo en regiones templadas (EE.UU. e Inglaterra) y tropicales (Brasil y Perú) (Adaptado de Stewart et al., 2005).

Tabla 1. Indicadores de la demanda agrícola (FAO, 2002).

Indicadores	Unidades	1979-1981	1997-99	2015	2030
Población	billones	4.43	5.90	7.21	8.27
Crecimiento anual de población	% anual	1.6	1.5	1.2	0.9
Consumo calorías	kcal/cápita/día	2552	2803	2940	3050
Producción cereales	millones t	1442	1889	2387	2838
Producción de carne	millones t	132	218	300	376
Producción de aceites vegetales y oleaginosas	millones t	50	104	157	217
Desnutrición	millones personas	816*	777	610	443

* Límite establecido para 1990-92 por la Cumbre Mundial de la Alimentación.

proteínas, grasas, minerales (macro y micro), y vitaminas (Tabla 2). Tanto los microelementos como las vitaminas son considerados micronutrientes esenciales para la nutrición humana.

La desnutrición en micronutrientes en países en desarrollo resulta en la muerte de más de 5 millones de niños cada año, y cuesta más de 220 millones de años de vida productiva a los hogares y billones de dólares en pérdidas de productividad a los países (FAO, 2004). Aún deficiencias leves de micronutrientes incrementan marcadamente el riesgo de muerte y enfermedades severas. Las deficiencias de hierro (Fe), yodo (I), vitamina A, y cinc (Zn) son actualmente las deficiencias de micronutrientes de mayor importancia para la salud humana en el mundo en desarrollo.

La deficiencia de Fe es el desorden nutricional más común en el mundo. La Organización Mundial para la Salud (OMS, o WHO en inglés), estima que 4- 5 billones de personas pueden sufrir deficiencias de Fe y que aproximadamente 2 billones de personas sufren anemia debido a deficiencias de Fe (WHO, 2004). Las deficiencias de I afectan a más de 740 millones de personas, siendo la principal causa en el mundo de daño cerebral. La deficiencia de vitamina A es la principal causa, posible de prevenir, de ceguera en niños, siendo deficientes entre 100 y 140 millones de niños en el mundo. La deficiencia de vitamina A incrementa los riesgos de enfermedad y muerte a partir de infecciones severas, causa ceguera nocturna en mujeres embarazadas, y puede incrementar el riesgo de mortalidad maternal. El mal desarrollo infantil es el más claro indicador de la deficiencia de Zn. No es posible saber la proporción de la deficiencia de Zn, ya que no existe un método de

medición simple y de bajo costo, pero investigaciones recientes indican que 1/5 de las personas en el mundo puede presentar carencia de Zn en sus dietas, estimando que 1/3 de la población mundial vive en países de alto riesgo de deficiencia de Zn (Holtz y Brown, 2004). La alimentación es la llave para solucionar los problemas de desorden nutricional de una manera sustentable y la fertilización puede influenciar directamente los contenidos de Fe y Zn en los alimentos, e indirectamente los contenidos de vitamina A.

De los 50 componentes nutricionales requeridos para satisfacer las necesidades metabólicas de los humanos (Tabla 2), sólo el agua, potasio (K), fósforo (P), azufre (S), calcio (Ca), magnesio (Mg), boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), Fe, manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y níquel (Ni), son considerados esenciales para las plantas. El cobalto (Co), es esencial para la fijación biológica del nitrógeno (N), y es un componente esencial de la vitamina esencial cobalamina, que es sintetizada solo por ciertas bacterias. Las deficiencias de cobalamina en humanos (por ej., anemia perniciosa), es conocida por ser un gran problema en ciertas regiones del mundo, incluyendo el subcontinente indio, México, América Central y Sudamérica y entre vegetarianos en Asia (Stabler y Allen, 2004). Las plantas utilizan el N y estos elementos minerales para sintetizar los componentes nutricionales esenciales (proteínas y vitaminas) en los alimentos que los humanos consumen. La fertilización con estos 14 nutrientes esenciales no solo puede incrementar los rendimientos, sino que también puede mejorar la calidad alimenticia de productos vegetales y animales.

La relación entre la fertilización con N, el rendimiento de los cultivos y la concentración de proteína

Tabla 2. Nutrientes esenciales para la vida (Welch y Graham, 2004).

Agua y Energía	Proteínas (aminoácidos)	Lípidos-Grasas (grasas insaturadas)	Macro elementos	Micro elementos	Vitaminas
Agua	Histidina	Acido oleico	Na	Fe*	A
Carbohidratos	Isoleucina	Acido linoleico	K	Zn	D
	Leucina		Ca	Cu	E
	Lisina		Mg	Mn	K
	Metionina		S	I	C (ácido ascórbico)
	Fenilalanina		P	F	B ₁ (Tiamina)
	Treonina		Cl	B	B ₂ (riboflavina)
	Triptófano			Se	B ₃ (niacina)
	Valina			Mo	B ₅ (ácido pantoteico)
			Ni	B ₆ (piridoxina)	
			Cr	B ₇ (biotina)	
			Si	B ₉ (ácido fólico)	
			As	B ₁₂ (cobalamin)	
			Li		
			Sn		
			V		
			Co (en B ₁₂)		

* Los micronutrientes esenciales que presentan la mayor preocupación para la salud humana se indican en negrita.

es ampliamente aceptada. Los resultados de la Figura 4 son típicos de lo que puede observarse cuando se aplica fertilizante nitrogenado a un suelo deficiente. La concentración de proteína en trigo continúa incrementándose con la cantidad de N aplicado más allá de la cantidad necesaria para obtener el máximo rendimiento. Cuando el N disponible es limitante (por ej., en la parte inferior de la curva de rendimiento), como es frecuente en países en desarrollo, aplicando pequeñas, pero inadecuadas cantidades de N a menudo resulta en disminuciones en proteína de grano. Se necesita aplicar suficiente N para satisfacer los requerimientos de rendimiento de la planta antes de que se observen incrementos significativos en proteína.

La calidad y composición de aminoácidos de las proteínas es también afectada por la fertilización nitrogenada y azufrada, ya que el S es un componente estructural de tres aminoácidos (metionina, cistina y cisteína), y también afecta la calidad de proteína (Rendig, 1984; Grunes y Allaway, 1985). La fertilización con N incrementa la concentración de algunos aminoácidos no esenciales y disminuye la de otros aminoácidos esenciales, pero, en función del peso del grano, el contenido de aminoácidos usualmente se incrementa con la cantidad de N aplicado. La nutrición mineral generalmente tiene mayor efecto en los aminoácidos libres de la fracción no proteica. El uso de N en suelos deficientes promueve el crecimiento de las plantas con mayores contenidos totales de proteína, resultando en mayor cantidad de proteína producida por hectárea. A pesar que la genética controla la calidad nutricional de las proteínas, en mayor medida que la fertilización nitrogenada, el manejo de la fertilización puede afectar la elaboración de aminoácidos de proteínas y por ende, la utilización de proteínas por el consumidor.

La importancia del balance de nutrientes

Salunkhe y Desai (1988) resumieron los efectos del N, P y el K, en la calidad de los vegetales. Los autores citan reportes en donde importantes aplicaciones de N tienden a disminuir la vitamina C de los vegetales (por ej. en espinaca, remolacha, repollo y repollito de Bruselas), mientras que las aplicaciones de K aumentan el contenido de vitamina C (Figura 5). Se ha encontrado que la fertilización nitrogenada tiene efecto positivo en

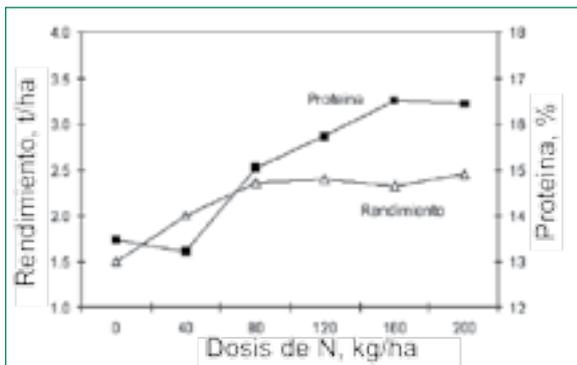


Figura 4. Rendimiento y proteína en grano de trigo bajo diferentes dosis de N, en el Oeste de Canadá (Grant et al., 2001).

el nivel de caroteno en zanahoria y espinaca, pero las aplicaciones abundantes pueden tener un efecto adverso en la calidad de los vegetales por la acumulación de nitrato potencialmente dañino.

Otros impactos nutricionales citados por Salunkhe y Desai (1988) indican que la fertilización fosfatada incrementaría el contenido de azúcar en tomate y mejoraría el color de la remolacha, mientras que las deficiencias de P producirían un pobre llenado de espigas en maíz dulce. La acidez en tomate y los contenidos de sólidos y almidón en papa se relacionan positivamente con la fertilización potásica. Perkins-Veazie y Roberts (2002) informaron de otros efectos del K en la composición y calidad de frutillas, uvas, pomelo, pistacho, sandía y tomates. Generalmente, el K parece afectar la acidez, el pH y el contenido de carotenoides. La adición de K, por lo general, disminuye el pH de la fruta, incrementando su acidez. En tomates, el incremento en K realza el color rojo e incrementa el contenido de licopenos. El licopeno es el carotenoide que le otorga el color rojo al tomate y a la sandía. El N, P y K interactúan en forma conjunta, incrementando los rendimientos y la absorción de otros nutrientes y afectando la calidad del producto a cosecha. Más información sobre los beneficios adicionales del P y el K en la calidad de los cultivos a cosecha se encuentran resumidos en la revista *Better Crops* (1998, 1999).

En general, la fertilización con micronutrientes tiene poco efecto en la acumulación de éstos en las partes comestibles de las plantas, a excepción del Zn y otros microelementos como el Ni, I, y selenio (Se), que no están disponibles en fertilizantes comerciales.

Las deficiencias de Zn son comunes en cultivos, especialmente en cereales. Cerca de la mitad de la

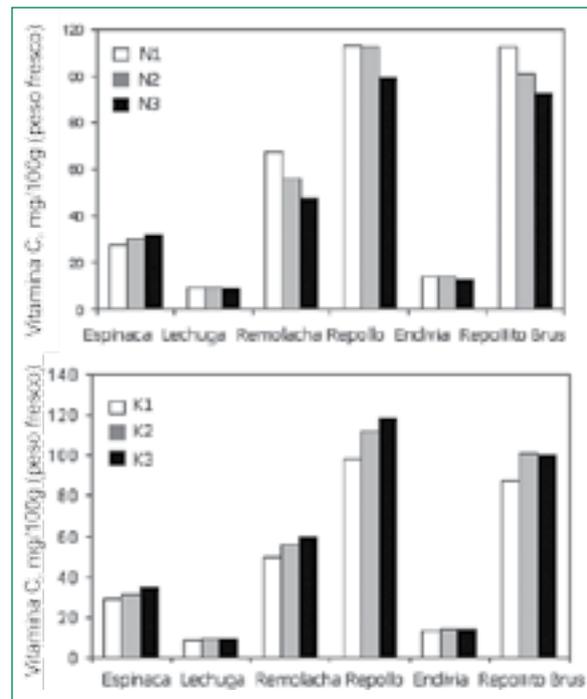


Figura 5. Efecto de la fertilización con N y K en el contenido de vitamina C de varios vegetales (adaptado de Salunkhe y Desai, 1988).

superficie en el mundo implantada con cereales es deficiente en Zn (Graham y Welch, 1996). El arroz y el trigo, fuentes predominantes de energía y minerales para gran parte de la población mundial, son particularmente sensibles a las deficiencias de Zn. Tanto el rendimiento como la calidad nutricional del grano se ven limitadas en suelos deficientes en Zn. En la década de los '90, los estudios a gran escala a campo sobre suelos de Turquía con deficiencia generalizada de Zn, demostraron la eficacia de la fertilización en corregir los problemas de deficiencias de Zn en todo el país (Cakmak 2005).

Anatolia Central, la región más seca de Turquía, involucra el 50% del área de producción de trigo del país (4.5 millones de ha) y, según fue reportado por FAO, presenta alguno de los suelos con deficiencias más severas de Zn del mundo. Los experimentos a campo y los muestreos de suelo y planta confirmaron la existencia de deficiencia generalizada de Zn. La fertilización con Zn produjo un incremento de rendimiento sustancial y, en ciertas áreas donde la producción de trigo no había sido económica y los rendimientos eran extremadamente bajos (250 kg/ha), las aplicaciones de Zn incrementaron los rendimientos hasta en un 600% (Tabla 3).

Las aplicaciones foliares y al suelo y tratamientos de semilla con Zn aumentaron los rendimientos en grano y, aun más importante, la concentración de Zn en granos en un 300% (Figura 6). La mayoría de la población en Turquía depende del trigo como fuente básica de alimento. En promedio, el 45% de la ingesta diaria en calorías proviene del trigo, siendo crítico entonces tener adecuados niveles de Zn en el grano. Este proyecto es uno de los primeros ejemplos en el mundo en donde la fertilización ha sido utilizada específicamente para intervenir en un problema severo de salud humana.

Interacción entre nutrientes

Las interacciones entre nutrientes de los fertilizantes, pH, y condiciones de suelo adversas como excesos de agua o compactación, afectan la concentración de nutrientes en las partes comestibles de las plantas. En

Tabla 3. Efectos de la aplicación de Zn en el rendimiento de trigo en sitios con diferentes niveles de Zn en el suelo, en Anatolia Central (Cakmak et al., 1996).

Sitios	Nivel de Zn	Rendimiento en grano		
		- Zn	+Zn	Incremento
	mg/kg	t/ha		%
Konya	0.13	2.8	5.9	111
Konya (Comaki)	0.11	0.2	1.4	600
Eskisehir	0.15	2.5	3.3	32
Sarayonu (Cesmelisebil)	0.25	1.1	2.3	109
Sarayonu (Gozlu)	0.38	1.1	1.5	36
Cumra	0.64	5.4	5.6	4
Promedio	0.28	2.2	3.3	53

suelos pobres en nutrientes, comunes en los países subdesarrollados, la producción de cultivos esta limitada en primer lugar por aquellos nutrientes requeridos en grandes cantidades como N, P y/o K. Cuando el N, P y/o K son limitantes, la aplicación de estos nutrientes incrementa el crecimiento de las raíces y, a menudo, resulta en una mayor absorción de micronutrientes. De todas maneras, pH elevados, excesos de encalado, o demasiado P pueden afectar negativamente la absorción de Zn y de Fe (Marschner, 1995).

La absorción de Zn por las raíces de las plantas es especialmente sensible a la variación de pH en la rizósfera del suelo. Si bien las especies varían en la respuesta al pH del suelo, incrementos en el pH del suelo restringen la absorción de Zn y pueden inducir a deficiencias de Zn en plantas (Loneragan y Webb, 1993). Las interacciones P-Zn son muy conocidas y de cierta complejidad ya que aplicaciones de P pueden inducir tanto a deficiencias, como no tener efecto, o hasta incrementar la absorción de Zn. La causa más común de restricción en la absorción de Zn con la fertilización fosfatada es la supresión de la infección de raíces por las micorrizas vesículo-arbusculares. La fertilización con N puede enfatizar o disminuir la deficiencia de Zn. La interacción más común entre N y Zn, se da con el N promoviendo el crecimiento de planta y la raíz y, en menor medida, disminuyendo el pH del suelo en la rizósfera: ambas acciones incrementan la absorción de Zn. Existen otros micronutrientes que también interactúan con el Zn y bajo ciertas circunstancias pueden inhibir su absorción.

El ácido fítico (o fitato), una forma orgánica de P en la semilla de las plantas superiores, también interactúa con los elementos trazas (Bruulsema, 2002a). Por ejemplo, el ácido fítico contiene el 70% del P total en la semilla de soja. Cuando la soja crece en suelos enriquecidos en P, el P en grano se acumula principalmente como fitato. El ácido fítico comúnmente disminuye la biodisponibilidad de Zn y Fe en alimentos básicos. Este es uno de los numerosos antinutrientes que se sabe que están presentes con altos niveles en los alimentos básicos (Graham et al., 2001). El ácido fítico forma precipitados insolubles con muchos cationes polivalentes como Zn, Fe y Ca; disminuyendo finalmente la absorción en los humanos.

Alimentación funcional y fertilización con nutrientes

La literatura cuenta con muchas evidencias del efecto positivo de los fertilizantes comerciales proporcionando los nutrientes esenciales para la vida humana. La industria de fertilizantes tiene que desempeñar un rol fundamental en la búsqueda de la disminución del hambre y los desórdenes nutricionales existentes en los países subdesarrollados. Si bien la mala nutrición no afecta directamente al mundo desarrollado, el público está interesado en la calidad en los alimentos y su contribución a la salud humana. Los consumidores se han vuelto cada vez más interesados en la alimentación funcional y los nutraceuticos. La alimentación funcio-

nal se define como aquella que contiene ingredientes bio-activos (por ej., licopeno en tomates, isoflavonas en soja), que mejoran la salud y el estado del cuerpo (Bruulsema, 2002a). Los ingredientes en la alimentación funcional se asocian con la prevención y el tratamiento del cáncer, diabetes, hipertensión, enfermedades del corazón, y otras enfermedades. Estos alimentos, también llamados nutraceuticos, pueden ser extractados y consumidos como suplementos o pueden tener un valor terapéutico cuando son consumidos en los alimentos. Los componentes de esta alimentación funcional están fuertemente gobernados por la genética, pero otros factores como el clima, las prácticas culturales y el manejo de nutrientes pueden también tener un impacto importante.

El efecto de la nutrición mineral en los componentes de la alimentación funcional ha sido recientemente revisado durante un simposio especial de la Sociedad Americana de Agronomía (ASA) (Bruulsema, 2002b). Algunos ejemplos de la interacción de nutrientes y fitoquímicos se presentan a continuación.

El licopeno no es esencial para humanos o animales, pero las investigaciones mostraron que tiene beneficios. Perteneció a la familia de los carotenoides, que le dan el color rojo a los tomates, sandía y pomelo, y tiene probadas propiedades antioxidantes: neutraliza radicales libres, que pueden dañar células humanas. Un primer estudio demostró que el contenido de carotenoides en tomates se incrementó con cantidades crecientes de K en la solución nutritiva (Trudel y Ozbun, 1971). Los análisis en frutos mostraron que los contenidos de licopeno aumentaron marcadamente con mayores aplicaciones de K, hasta un 56%. Los autores concluyeron que el licopeno es el pigmento más sensible a la deficiencia de K. Siendo el K un co-factor esencial en la síntesis de proteínas, su deficiencia produce una reducción en las reacciones enzimáticas que intervienen en la síntesis de carotenos y precursores. Un estudio en ejecución en Texas muestra que los contenidos de carotenoides en pomelo (licopeno y beta-carotenoide), y de vitamina C se incrementan con la fertilización foliar con KNO_3 (B. Patil, datos inéditos, PPI/FAR Research Database, TX-45F). La fertilización con NPK también incrementó el contenido de licopeno y sólidos solubles

(dulzor) en sandía en otro estudio llevado a cabo en Oklahoma (Perkins-Veazie y Roberts, datos inéditos, PPI/FAR Research Database, OK-07F).

Además de proveer una fuente importante de proteínas, se cree que la soja previene el cáncer, enfermedades cardiovasculares y osteoporosis y reduce los síntomas menopáusicos (Bruulsema 2002a). La soja contiene varias clases de anticancerígenos, incluyendo las isoflavonas, *genistein* y *daidzein*, y es la única fuente dietética de estos componentes. Las isoflavonas han sido también asociadas con efectos de reducción de colesterol y con la reducción de la frecuencia e la intensidad de los “calores” en mujeres menopáusicas. Investigaciones en Ontario (Canadá) han demostrado que la fertilización potásica puede afectar el contenido de isoflavonas en soja (Tabla 4). La aplicación de K aumentó el contenido de isoflavona en un 13%, en promedio, para los 2 sitios y 3 años de estudio. Los 2 sitios difirieron en contenidos de K en el suelo, uno muy bajo y otro alto, pero ambos tuvieron una respuesta en rendimiento similar a la fertilización con K. En los sitios donde la soja no respondió a la aplicación de K, los niveles de isoflavonas no difirieron, sugiriendo que la deficiencia de K reduce los niveles de isoflavonas en soja.

Conclusiones

La aplicación balanceada y adecuada de fertilizantes comerciales es una técnica crítica en la producción de alimentos para el mundo y continuará creciendo en importancia en la medida que la demanda de alimentos aumente, con una demanda simultánea de una mejor fertilidad de suelos. La fertilización adecuada también mejora la calidad de los cultivos y los alimentos, como se ha determinado a través del nivel de componentes nutricionales esenciales para la nutrición humana. Los gobiernos, las autoridades sanitarias y todos aquellos trabajando en agricultura necesitan reconocer el rol principal que los fertilizantes pueden jugar en el abastecimiento de alimentos ricos en nutrientes, fitoquímicos, y vitaminas y proteínas derivados de plantas y animales.

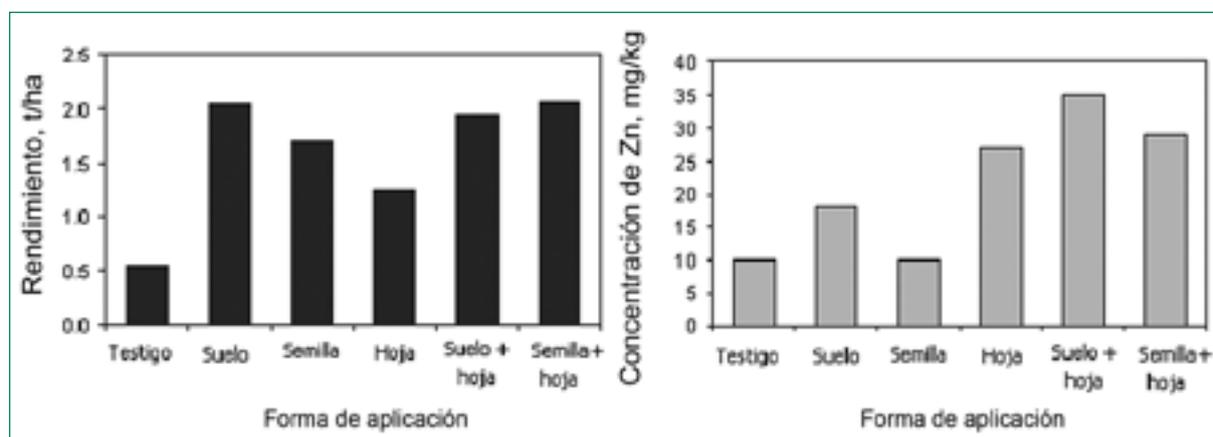


Figura 6. Efecto de diferentes formas de aplicación de Zn en el rendimiento y la concentración de Zn en grano, en Anatolia Central, Turquía (Yilmaz et al., 1997).

Referencias

Better Crops. 1998. The influence of potassium in crop quality. In Potassium for Agriculture. Better Crops with Plant Food: 82(3):28-29.

Better Crops. 1999. Phosphorus improves crop quality. In Phosphorus for Agriculture. Better Crops with Plant Food: 83(1):28-29.

Bruulsema, T.W. 2002a. Nutrients and product quality. p. 69-78. In Plant Nutrient Use in North America. PPI/PPIC/FAR Technical Bulletin 2002-1. Published by Potash & Phosphate Institute. ISBN # 0-9629598-4-7.

Bruulsema, T.W. (ed). 2002b. Fertilizing Crops for Functional Foods. Symposium Proceedings 11 November, 2002. Potash & Phosphate Institute. www.ppi-ppic.org/functionalfood

Cakmak, I. 2005. Identification and correction of widespread zinc deficiency problem in central Anatolia, Turkey. 73rd IFA Annual Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, 6-8 June, 2005.

Cakmak, I., A. Yilmaz, H. Ekiz, B. Torun, B. Erenoglu y H.J. Braun. 1996. Zinc deficiency as a critical nutritional problem in wheat production in Central Anatolia. Plant and Soil 180: 165-172.

FAO 2002. World Agriculture: Towards 2015/2030 an FAO perspective. FAO Corporate Document Repository. Food and Agriculture Organization of the United Nations. www.fao.org/documents.

FAO 2004. The State of Food Insecurity in the World 2004. Monitoring progress towards the World Food Summit and Millennium Development Goals. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO 2005. Global information and early warning system on food and agriculture (GIEWS). www.fao.org/giews/english/index.htm.

FAOSTAT 2005. Agricultural Data. faostat.fao.org/

Graham, R.D. y R.M. Welch. 1996. Breeding for staple-food crops with high micronutrient density. Agricultural Strategies for Micronutrients. p 1-72. Working Paper No. 3. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.

Graham, R.D., R.M. Welch, y H. E. Bouis. 2001. Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: principles, perspectives and knowledge gaps. Advances in Agron. 70: 77-142.

Grant, C.A., R.M. McKenzie, C.D. Rawluk, O. Lukow, y D.N. Flaten. 2001. Nitrogen management for enhanced protein content in wheat in the Black soil zone. p. 86-93. In Proceedings of the Saskatchewan Soils and Crops Workshop, University of Saskatchewan, Saskatoon.

Grunes, D.L. y W.H. Allaway. 1985. Nutritional quality of plants in relation to fertilizer use. p. 589-619. In O.P. Engelstad (ed.) Fertilizer Technology and Use (3rd Ed.). Soil Science Society of America, Madison, WI

IFA 2005. Statistics. Fertilizer Indicators.

www.fertilizer.org/ifa/statistics.asp

Heffer, P. 2005. Medium-term outlook for world agriculture and fertilizer demand 2004/05 – 2009/10. 73rd IFA Annual Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, 6-8 June 2005.

Hotz, C. y K.H. Brown (eds) 2004. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. Food and Nutrition Bulletin, 25:S91-S204. International Zinc Nutrition Consultative Group (IZiNCG). International Zinc Nutrition Consultative Group (IZiNCG)

Longeragan, J.F. y M.J. Webb. 1993. Interactions between zinc and other nutrients affecting the growth of plants. p.119-134. In Proceedings of the International Symposium on Zinc in Soils and Plants. The University of Western Australia, 27-28 September 1993.

Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, New York.

Perkins-Veazie, P.M. y W. Roberts. 2002. Can potassium application affect the mineral and antioxidant content of horticulture crops? In Fertilizing Crops for Functional Foods. Symposium Proceedings 11 November, 2002. Potash & Phosphate Institute. www.ppi-ppic.org/functionalfood

Rendig, V.V. 1984. Soil fertility and plant nutrition effects on the nutritional quality of crops. p.61-78. In Crops as Sources of Nutrients for Humans. ASA Special Publication No. 48, Soil Science Society of America, Crop Science Society of America, American Society of Agronomy. Madison, WI

Salunkhe, D.K. y B.B. Desai. 1988. Effects of agricultural practices, handling, processing, and storage on vegetables. p 23-71. In Nutritional Evaluation of Food Processing. E. Karmas and R.S. Harris (eds). Avi Book, Van Nostrand Reinhold Co., New York.

Stabler, S.P. y Allen, R.H. 2004. Vitamin B12 deficiency as a worldwide problem. Annual Reviews of Nutrition 24:299-326.

Stewart, W.M., D.W. Dibb, A.E. Johnston, and J.T. Smyth. 2005. The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. Agron. J. 97: 1-6.

Trudel, M.J. y J.L. Ozbun. 1971. Influence of potassium on carotenoid content of tomato fruit. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 96(6): 763-765.

Welch, R.M. 2002. The impact of mineral nutrients in food crops on global human health. Plant and Soil 247: 83-90.

Welch, R.M. y R.D. Graham. 2004. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. J. Experimental Botany 55 (396): 353-364.

WHO 2004. Micronutrient deficiencies. World Health Organization, Health Topics, Nutrition. www.who.int/nut/#mic

Yilmaz, A., H. Ekiz, B. Torun, I. Gültekin, S. Karanlik, S.A. Bagci, y I. Cakmak. 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat grown on zinc-deficient calcareous soils in Central Anatolia. J. of Plant Nutrition 20: 461-471.

Tabla 4. La fertilización potásica incrementa la concentración de isoflavonas en la semilla de soja en Ontario (Canadá). Promedio de dos sitios y tres años (Bruulsema 2002a).

Aplicación de K	Isoflavonas			Total*
	Genistein	Daidzein	Glycitein	
	ppm			
Bandeado en primavera	938	967	146	2051
Testigo	831	854	130	1815
Incremento debido al K (%)	13	13	12	13

* Concentración total de isoflavonas expresada como aglycone; suma de tres componentes.

Criterios de fertilización fosfatada en sistemas de agricultura continua con maíz y soja en el cinturón del maíz

Antonio P. Mallarino

Departamento de Agronomía, Iowa State University, Iowa, EE.UU.

apmallar@iastate.edu

Introducción

La investigación ha dedicado grandes esfuerzos al estudio del manejo de fósforo (P) y potasio (K) para cultivos en el cinturón maicero de los Estados Unidos desde la introducción del maíz híbrido en la década del 50 y la expansión de la soja a fines de década de los '60. Sin embargo, el enfoque de la investigación y los problemas a resolver han cambiado recientemente porque las condiciones de la producción han cambiado. Uno de los cambios es que la mayoría de los campos (especialmente de los buenos productores), ya tienen niveles de P y K óptimos o mayores. Los objetivos prioritarios de la investigación y la extensión agrícola en estas condiciones, son diferentes a las condiciones donde predominan deficiencias. El trabajo se enfoca especialmente en encontrar y difundir métodos eficientes de fertilización para mantener niveles óptimos de fertilidad y productividad. Otro cambio importante se relaciona a la introducción o adopción en gran escala de nuevas tecnologías. Una de ellas es la expansión de sistemas de laboreo conservacionista. Otra tecnología involucra las técnicas de agricultura de precisión, las cuales están cambiando profundamente los sistemas de muestreo de suelo y de aplicación de fertilizante. Es posible que prácticas de fertilización recomendadas para sistemas convencionales no sean apropiadas, cuando se usan alguna de estas nuevas tecnologías.

El objetivo de esta presentación es discutir conceptos actuales de manejo de fertilidad y resultados de investigación para P para la producción de maíz y soja en la zona húmeda del cinturón del maíz, especialmente en Iowa. La discusión enfoca prácticas de manejo recomendadas, prácticas usadas por los productores y las razones para su uso. Un análisis objetivo de estas prácticas y los conceptos en que se basan puede ser útil para productores y técnicos de otras regiones. Sin embargo, el material presentado debe interpretarse críticamente ya que prácticas y filosofías adecuadas para el cinturón del maíz de los EE.UU. no deben extrapolarse directamente a otras regiones.

Clima, suelo y prácticas comunes de fertilización

La interpretación correcta de conceptos y resultados de investigación requiere conocer, aunque sea en una forma general, el clima, los suelos y las prácticas de

manejo de cultivos de la región. El clima es continental húmedo y los suelos son especialmente apropiados para la producción de maíz y soja en el cinturón maicero. En Iowa, caen aproximadamente 750 a 1100 mm de lluvia (disminuye de este a oeste), y se distribuyen en forma bastante uniforme de primavera a otoño. Hay muy poca precipitación en forma de nieve durante el invierno. El riego se justifica económicamente en la zona oeste de la región y en pequeñas áreas aisladas con suelos arenosos. La alta capacidad de los suelos de acumular agua, la gran profundidad de arraigamiento y las lluvias, evitan deficiencias hídricas frecuentes a pesar de la alta evapotranspiración durante el verano. La cubierta de nieve y los suelos congelados, hacen imposible el laboreo o el crecimiento vegetal desde diciembre hasta fines de marzo. El maíz y la soja se siembran desde mediados de abril a mediados de mayo. La estación de crecimiento no permite el doble cultivo. A la siembra, los suelos normalmente están húmedos y con suficiente acumulación de agua debido al derretimiento de la nieve y las lluvias tempranas.

La mayoría de los suelos de la región (Iowa, el sur de Minnesota, Illinois, y el este de Nebraska), son poco evolucionados siendo en general Molisoles (Udoles), aunque hay algunos Alfisoles (Udalfes). Típicamente, los primeros 20-30 cm de las series dominantes tienen de 3 a 6% de materia orgánica, 20 a 30% de arcilla (con predominancia de illita), pH entre 5.8 y 7, y no hay horizontes subsuperficiales con alto contenido de arcilla o impermeables. El material formador del suelo es loes o loes retransportado por glaciares de distintas edades, tienen textura franca o franco-limosa que permite buen arraigamiento. La mayoría de los campos ubicados en zonas bajas y planas tienen sistemas de drenaje subsuperficial para aliviar excesos de agua. Casi todos los suelos eran originariamente muy deficientes en P, pero la fertilización durante muchos años ha subido los niveles en muchos suelos a valores óptimos o altos. Las aplicaciones de fertilizante en general se hacen al voleo en otoño inmediatamente después de la cosecha, antes de que nieve o se congele el suelo. La aplicación de fertilizante granulado con la sembradora prácticamente no se usa y pocos productores aplican fertilizante starter líquido al momento de la siembra. La fertilización con tanta anterioridad a la siembra se debe a varias razones, pero especialmente a que los productores tienen tiempo para hacerlo en esta época y en primavera los suelos están muy húmedos casi hasta la fecha de siembra.

Interpretación del análisis de suelo y recomendaciones de fertilización

Los productores del cinturón maicero no tienen dudas acerca de la utilidad del análisis de suelo para P y K. Unos 15 laboratorios privados y un laboratorio estatal, analizan 150000 a 200000 muestras de suelo por año en Iowa, que tiene solo una superficie total de 145000 km². Existen calibraciones para varios análisis de suelo de P y K y para varios cultivos, las que son apoyadas por muchos años de investigación que aun hoy continúa. La Tabla I muestra como ejemplo las interpretaciones de análisis de suelo para P y las recomendaciones de fertilización para maíz y soja de Iowa. Calibraciones y recomendaciones similares se usan para K, las que no se discutirán en este artículo.

Algunos aspectos de las recomendaciones que se resumen en la Tabla I y que son interesantes para discutir incluyen el significado o razones para las clases interpretativas, la clasificación para diferente contenido de P en el subsuelo, la nota respecto al nivel de rendimiento asumido y la recomendación para la rotación; así como la base para definir las dosis recomendadas.

Las clases interpretativas están basadas en la probabilidad y magnitud de la respuesta en rendimiento a la fertilización de acuerdo a los niveles del análisis de suelo. La denominación de las clases asume que la probabilidad de respuesta es >80%, 65%, 25% y 5%

para las clases Muy Baja, Baja, Optimo y Alto, respectivamente. Un ejemplo de las calibraciones de campo disponibles se muestra en la Figura 1.

Las clases son diferentes de acuerdo al nivel de P del subsuelo. Datos de campo sugieren que en muchas condiciones se necesita menos cantidad de P o K en los primeros cm del suelo cuando el subsuelo (de 70 a 100 cm de profundidad) tiene naturalmente niveles altos de esos nutrientes. Los resultados de muchos ensayos de calibración publicados y otros en curso demuestran que las recomendaciones actuales son conservadoras en el sentido de mantener el nivel Optimo porque la probabilidad de respuesta es muy baja. Análisis económicos de retornos netos a la fertilización en el corto plazo (datos no mostrados) a partir de los datos en la Figura 1, muestran que la probabilidad de respuesta económica es muy alta en las clases bajas pero prácticamente nula en la clase Optimo. En promedio, el retorno neto a una fertilización de mantenimiento para la clase Optimo es cero o muy pequeño.

Respecto a los otros aspectos, en pocas palabras puede decirse que la explicación radica en que el concepto fundamental para las interpretaciones y recomendaciones se basa en una combinación de los conceptos de “nivel de suficiencia” y “subir y mantener”. Es importante entender esta filosofía cuando más adelante se discutan recomendaciones respecto a la localización de fertilizante.

Tabla I. Resumen de las interpretaciones de análisis de suelo y recomendaciones de fertilización para un cultivo de maíz y soja en Iowa.

Método de Análisis	Fósforo disponible: Categoría y Clases				
	Muy bajo	Bajo	Optimo	Alto	Muy alto
Bray-I o Mehlich-3 Colorimétrico	P disponible (ppm a 0 - 15 cm)				
Subsuelo bajo en P	0-8	9-15	16-20	21-30	31+
Subsuelo alto en P	0-5	6-10	11-15	16-20	21+
Mehlich-3 ICP	P disponible (ppm a 0 - 15 cm)				
Subsuelo bajo en P	0-15	16-25	26-35	36-45	46+
Subsuelo alto en P	0-10	11-20	21-30	31-40	40+
Olsen	P disponible (ppm a 0 - 15 cm)				
Subsuelo bajo en P	0-5	6-10	11-14	15-20	21+
Subsuelo alto en P	0-3	4-7	8-11	12-15	16+
	Dosis de fertilizante a aplicar				
Cultivo	Kg P ₂ O ₅ /ha				
Maíz	100	75	55 ^a	0 ^b	0
Soja	90	60	40 ^a	0 ^b	0
Rotación	160	115	95 ^a	0 ^{bc}	

a: La recomendación para la clase Optimo asume el rendimiento promedio en el Estado (9400 y 3360 kg/ha para maíz y soja, respectivamente), y debe ajustarse en cada caso.

b: Puede aplicarse fertilizante starter con suelo muy húmedo y frío o cubierto de residuos.

c: Puede aplicarse la mitad de la dosis recomendada para la clase Optima.

En su forma estricta, el concepto de nivel de suficiencia establece que hay un nivel de nutriente por debajo del cual hay respuesta a la fertilización, cada nutriente tiene su nivel de suficiencia y deficiencia, se fertiliza cada cultivo con la dosis óptima de acuerdo al nivel de cada nutriente y se reconoce que la dosis óptima de un nutriente puede ser afectada por el nivel de otros. El concepto de subir y luego mantener se basa en el poder residual de los fertilizantes fosfatados y potásicos y establece que si el nivel es por debajo del nivel óptimo se fertiliza no solo para alcanzar el máximo rendimiento sino para subir el nivel de nutriente disponible hasta el óptimo nivel en un plazo determinado. En algunos casos se interpreta mal este concepto y se recomienda fertilizar con lo que el cultivo va a remover en el grano cosechado aun cuando los niveles de nutriente en el suelo sean altos y la probabilidad de respuesta sea casi nula.

En la mayoría de los estados de la región, las filosofías para la interpretación del análisis de suelo y la fertilización son bastante similares e intermedias entre los clásicos conceptos de nivel de suficiencia y subir y mantener. Las recomendaciones que se hacen para las clases bajas incluyen no sólo la dosis que daría el máximo rendimiento económico en la mayoría de las condiciones, sino que incluye un componente para subir el nivel paulatinamente. No se recomiendan las dosis que subirían el nivel de nutriente hasta la clase Óptimo con una sola aplicación. En algunos estados se especifica la proporción de la dosis que mantendría el nivel inicial de nutriente y la proporción para lograr la máxima respuesta y subir el nivel. En Iowa, las dosis recomendadas son las estimadas para alcanzar el máximo rendimiento en la mayoría de los casos y se estima que ese manejo subiría el nivel de nutriente al nivel de la clase Óptimo en un período de cuatro a seis

años. Las estimaciones de las dosis de fertilización se obtienen de ensayos de respuesta regionales de corta y larga duración.

En Iowa, el nivel de rendimiento esperado no se considera para las recomendaciones correspondientes a las clases Muy Baja y Baja. Sin embargo, la dosis de mantenimiento para la clase Óptimo está basada exclusivamente en la remoción promedio de P en el grano (o planta en el caso de ensilaje o heno). Esto es un aspecto muy importante de la filosofía de fertilización en la mayor parte de los Estados Unidos y daría para mucha discusión que no es posible en este resumen. En gran parte de la zona oeste del cinturón maicero, la dosis de aplicación y la remoción de P con la cosecha son los dos factores más importantes que determinan la evolución de los niveles de P y K en los suelos. En esta región, la variación de tipo de suelo no es importante, y si hay un efecto del tipo de suelo es en gran parte debido a diferencias en los niveles de rendimiento. Resultados de ensayos de larga duración en diferentes suelos y subzonas climáticas con diferente productividad son la base de esta recomendación. Este tipo de información es útil porque permite estimar la cantidad de fertilizante a agregar para llegar a un nivel deseado de nutriente, pero también la cantidad a agregar periódicamente para mantener el nivel deseado. Los experimentos muestran que las necesidades de mantenimiento son mayores cuanto más altos son los niveles de P o K a mantener.

Otro aspecto importante que se muestra en la Tabla I es que también se recomienda la aplicación cada dos años de una dosis de fertilizante que contempla los requerimientos para el maíz y la soja en la rotación. Resultados de varios ensayos de larga duración de Iowa y Minesota muestran que, en nuestras condiciones, aplicar las dosis recomendadas para cada cultivo o cada dos

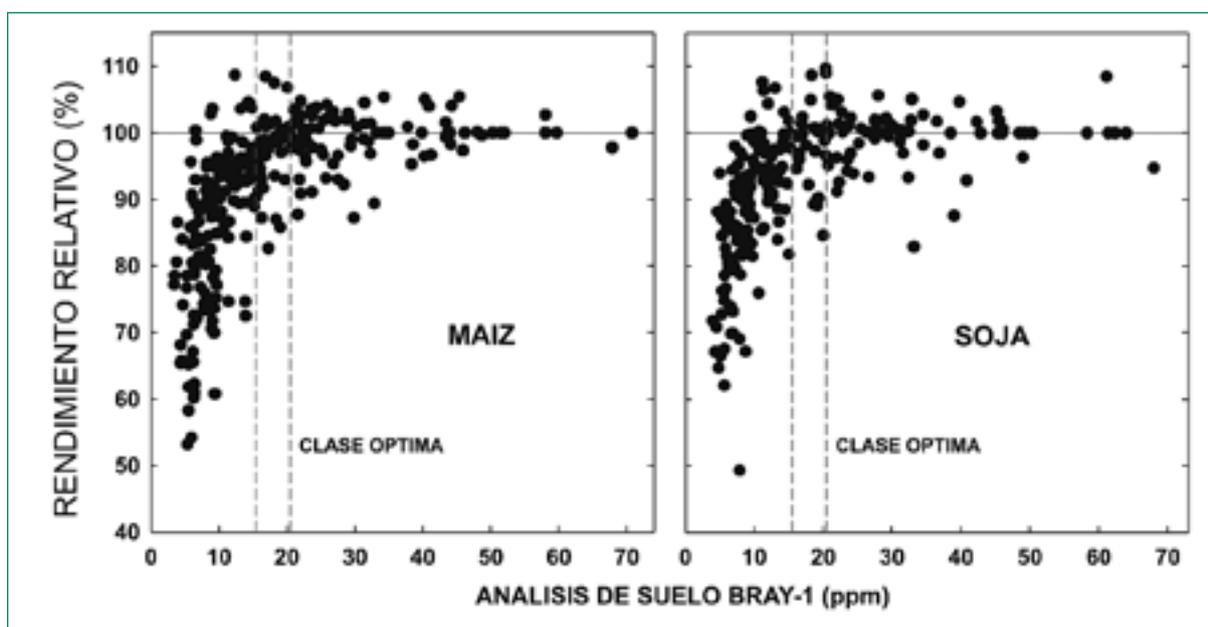


Figura 1. Relación entre el P disponible (P Bray I en ppm a 0-15 cm) y el rendimiento relativo de maíz y soja en Iowa. Fertilización de mantenimiento se recomienda para la clase interpretativa Óptima.

años tiene la misma eficiencia o las diferencias no son consistentes. Por supuesto la aplicación cada dos años baja los costos de aplicación. Esta misma eficiencia se explica por el limitado “consumo de lujo” de nutrientes en la cosecha de grano y a que los suelos tienen la usual alta capacidad de retener P pero no necesariamente de “fijar” P en formas no disponibles para las plantas en el corto o mediano plazo. La mayoría de los productores aplican antes del maíz la dosis necesaria para la rotación maíz-soja, ya sea para subir o para mantener los niveles de P y K en el suelo.

Esta filosofía del uso de análisis de suelo y del manejo de la fertilización tiene varias ventajas. Es muy sencilla, implica poco riesgo de perder posible respuesta, implica bajos costos de aplicación, es una buena opción para suelos con poca o moderada capacidad de retención de P y K, no requiere muestreos de suelo anuales. Con esta filosofía, los costos de aplicación y el tiempo dedicado al manejo son significativamente menores debido a dos razones. Una razón es que la aplicación de dosis de mantenimiento o aquellas que con seguridad producen el máximo rendimiento permiten el uso de métodos de aplicación sencillos, baratos y que requieren poca atención. Esto incluye tanto la fertilización al voleo como la aplicación de las necesidades de dos cultivos una sola vez, normalmente antes del más exigente. Sin embargo, esta filosofía puede disminuir el retorno neto por kilo de fertilizante agregado y puede que no sea una práctica recomendable en suelos con muy alta capacidad de retención de P o K o cuando la tenencia de la tierra es precaria.

Este manejo contrasta con la filosofía estricta del nivel de suficiencia. En este caso se aplica la dosis óptima que da el máximo rendimiento económico para un cultivo, mayor precisión en la recomendación, puede requerir muestreos de suelos anuales o bianuales, aumenta el riesgo de perder respuesta si se aplica menos fertilizante del que se debe y requiere más atención. Probablemente sea una buena práctica en suelos muy fijadores de P o K o cuando el productor tiene una limitante grave de dinero disponible o tenencia de la tierra precaria.

Como se mencionó anteriormente, la mayoría de los suelos del cinturón maicero que se clasificaban como muy bajos o bajos en P y K, hace 15 o 20 años ahora están en la clase Óptimo o mayores. Esta situación pone en evidencia un aspecto importante de la filosofía para la fertilización que predomina en los Estados Unidos. Esto no se explica sólo por los subsidios existentes y la relación de precios. La mayoría de los productores prefieren errar por aplicar mayor cantidad de fertilizante que errar por aplicar menos de lo necesario. Esta filosofía es confirmada por algunos análisis económicos, aunque se ignora las consecuencias potenciales en cuanto a contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

Métodos de aplicación de fósforo

Las recomendaciones de métodos de aplicación de fertilizantes deben basarse en la investigación local. La discusión y ejemplos que siguen se presentan con el objetivo de demostrar cómo la filosofía de manejo de la fertilización determina en gran parte las ventajas relativas de varios métodos de aplicación de fertilizantes y el riesgo de seguir consideraciones teóricas sin confirmación a través de investigación aplicada.

Las ventajas comparativas de distintos métodos de aplicación dependen del tipo de cultivo y suelo, de la fuente del nutriente, del nivel de nutriente del suelo, del clima (especialmente el régimen de lluvias), de los costos comparativos de aplicación y de los conceptos en los cuales se basa el manejo de la fertilización y la producción de cultivos entre otros factores. En la mayor parte del cinturón maicero la forma de aplicación no ha sido un aspecto prioritario para los productores debido a la baja o moderada capacidad de “fijación” de P o K de los suelos y al bajo costo relativo de los fertilizantes y de la fertilización al voleo. La mayoría de los productores fertilizan al voleo a través de los servicios de distribuidores, muy pocos aplican ellos mismos los fertilizantes fosfatados y potásicos. Sin embargo, el uso creciente de la siembra directa y problemas de contaminación de aguas con nutrientes han planteado nuevas interrogantes.

Algunos cambios que podrían afectar a la nutrición de los cultivos manejados con laboreo conservacionista son las posibles deficiencias tempranas debido a que el suelo se calienta más lentamente en primavera y está más húmedo cuando está cubierto de residuos, y a la estratificación o acumulación a largo plazo de P y K en los primeros cm del suelo. En estos casos la teoría dice que aplicaciones bandeadas o aplicaciones al voleo combinadas con dosis bajas bandeadas podrían ser más eficientes. Las temperaturas frías provocan un atraso en la fecha de siembra óptima o una reducción del crecimiento inicial en siembras tempranas y pueden reducir la disponibilidad de nutrientes. La acumulación de nutrientes cerca de la superficie sin ninguna duda existe en suelos manejados con siembra directa o laboreo vertical y podría inducir deficiencias cuando los primeros cm de suelo están secos y las plantas están absorbiendo agua de zonas profundas. Teóricamente, la concentración de nutrientes cerca de la superficie también podría inducir sistemas radiculares más superficiales lo que aumentaría la susceptibilidad a la sequía en el verano. Este problema puede ocurrir aún cuando la mayor cobertura con residuos mejore la infiltración de agua y el crecimiento de raíces en los horizontes superficiales.

Para evitar esos posibles problemas con siembra directa se han propuesto prácticas alternativas. Una práctica incluye la aplicación de fertilizantes “starter” junto o al costado y debajo de la semillas, con al sembradora. Este método tiene el problema que no permite la aplicación de grandes cantidades de fertili-

zante que a veces son necesarios en suelos deficientes o con altas necesidades de mantenimiento. Esto es debido a razones prácticas (ningún productor quiere o prácticamente puede aplicar mas de 25 o 30 kg de P_2O_5 y K_2O /ha con la sembradora), porque puede dañar las semillas al usar la forma barata de aplicación en el surco, y porque no aplica el fertilizante a una profundidad que evita la estratificación. El uso de dosis bajas de fertilizante starter líquido para la siembra directa es común y es objeto de investigación en este momento, pero no se discute en esta presentación.

Por estas razones se han propuesto distintas formas de aplicar fertilizantes en profundidad. Sistemas que aplican bandas de fertilizantes líquidos o granulados a profundidades entre 12 y 20 cm, están siendo usados por algunos productores, aún cuando hasta hace poco tiempo no había resultados que confirmaran su ventaja. Tradicionalmente se menciona que las ventajas claras del bandeo generalmente ocurren cuando se aplican dosis menores a las óptimas y en suelos muy ácidos o calcáreos o donde la cantidad y mineralogía de la fracción arcilla conduce a alta retención de P o K. Dos problemas graves asociados a la siembra directa y la fertilización bandeada es el gran aumento de la variabilidad de los análisis de suelo debido a un error mayor en el muestreo y a la incertidumbre concerniente a la mejor profundidad de muestreo. Si bien se está desarrollando una extensa investigación para estos sistemas, no existe ningún método de muestreo alternativo a los métodos tradicionales que sea claramente mejor. Las únicas certezas son que deben sacarse muchas más muestras y tomas por muestra, y que el análisis de suelo se transforma en una herramienta menos confiable.

Los resultados de ensayos regionales recientes

en Iowa y en otras zonas del cinturón maicero, muestran que el método de aplicación de P no es un problema importante para maíz y soja sembrados con siembra directa o convencional. La fertilización fosfatada bandeada (profunda antes de la siembra o a menor profundidad con la sembradora), casi siempre estimula el crecimiento inicial y a veces adelanta la madurez fisiológica del maíz pero pocas veces aumenta el rendimiento o reduce la cantidad de fertilizante necesario comparado con la fertilización al voleo. Estos resultados sorprenden a muchos productores e investigadores de otras regiones y a los que siguen teorías ciegamente. Sin embargo aproximadamente 300 experimentos cosechados desde 1994 en Iowa dejan pocas dudas al respecto. Las dosis usadas fueron de 30 a 120 kg P_2O_5 /ha para las aplicaciones al voleo o bandeada profunda y de 30 a 60 kg P_2O_5 /ha para la aplicación en banda al costado y debajo de la semilla con la sembradora.

Los datos resumidos en la Figura 2, muestran promedios sobre todas las dosis usadas en los sitios en que hubo respuesta a P. La tercera parte de los sitios tenían suelos con menos de 20 ppm de P (método Bray-1) en muestras sacadas a 15 cm de profundidad, pero ninguno tenía menos de 5 ppm. El muestreo a profundidades de 0 a 7.5 cm y 7.5 a 15 cm mostró alta estratificación, la cual fue más marcada con la siembra directa que con el manejo de laboreo vertical. La fertilización fosfatada aumentó el rendimiento de maíz y soja solamente cuando el suelo tenía menos de unos 18 ppm de P con el método Bray-1 en muestras sacadas a 15 cm de profundidad. Los métodos de aplicación de P no afectaron (estadísticamente) los rendimientos de maíz o soja en ningún sitio. Los máximos rendimientos se

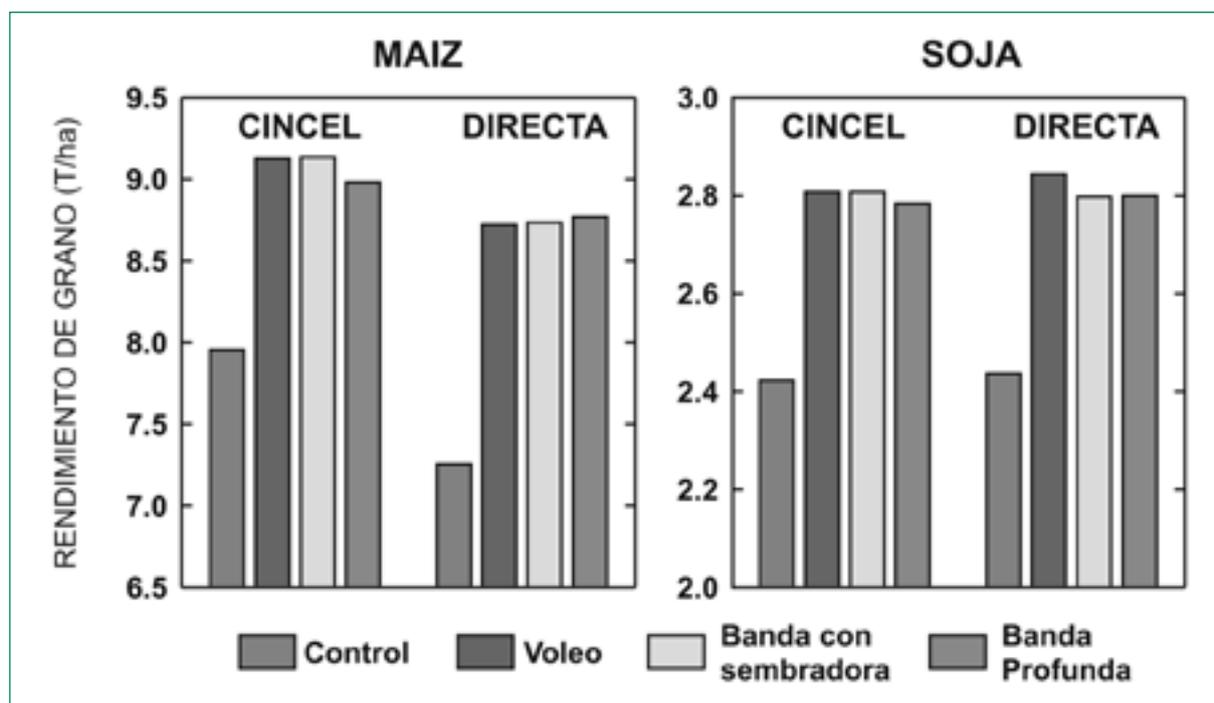


Figura 2. Efecto de la fertilización fosfatada y del método de aplicación en los rendimientos de maíz y soja manejados con dos sistemas de laboreo en Iowa (promedios de ensayos regionales donde hubo respuesta a fósforo).

obtuvieron casi siempre con la misma dosis cualquiera fuese el método de aplicación. Como ejemplo, la Figura 3 muestra la evolución de la respuesta promedio de maíz y soja a través del tiempo para un ensayo de larga duración típico en el que se comparan varias estrategias de aplicación de fertilizante fosfatado para esta rotación. Cuando los niveles de P en el suelo estaban en la clase muy baja (< 9 ppm) o en las clases altas (> 20 ppm), la profundidad de muestreo no afectó las interpretaciones. Sin embargo, en unos pocos casos la falta de respuesta de soja en suelos con P en la clase baja (9 a 15 ppm) pudo explicarse por la mayor concentración de P en el horizonte superficial.

Contrariamente a los resultados para P, el bandeo profundo de K a menudo aumentó el rendimiento por encima de lo logrado con fertilización al voleo o bandeo con la sembradora para maíz y soja manejados con siembra directa. Los resultados no se muestran en este artículo, pero las respuestas al bandeo profundo de K fueron mayores y más frecuentes para maíz que para soja, y se observaron tanto en suelos deficientes en K como en aquellos con niveles considerados óptimos (130 a 170 ppm o mayor) para laboreo convencional. Sin embargo, los aumentos de rendimiento tanto de maíz como de soja, no siempre compensan los mayores costos de la aplicación profunda. Las mayores respuestas de maíz al bandeo profundo con K ocurrieron en años con un período seco cuando el maíz tenía de 0.3 a 1 m de altura. Es probable que la sequedad de los primeros cm de suelo limite la absorción de K cuando éste se aplica en superficie o en bandas cerca de la superficie. Llama la atención que esto no haya afectado a la nutrición fosfatada, pero esto también se ha observado para otros sistemas de laboreo conservacionista (como siembra en camellones) en Iowa y Minnesota.

La fertilización y el método de aplicación de P afectaron ligeramente al crecimiento inicial de soja y afectaron marcadamente al de maíz. Tanto el bandeo profundo como con la sembradora, estimularon el crecimiento inicial más de lo que lo hizo la fertilización al voleo. Si bien esto es de esperar en suelos deficientes en P, el bandeo también aumenta notablemente el crecimiento inicial de maíz en suelos con alto nivel de P donde no hay respuesta en rendimiento. Es posible que el efecto del bandeo de P en el crecimiento inicial sea beneficioso para la producción de grano en algunas condiciones especiales. Por ejemplo, en condiciones extremas de deficiencia, donde el control de malezas no es adecuado, o con estaciones de crecimiento muy cortas.

Obviamente los resultados mencionados no confirman la creencia general respecto a la necesidad y ventaja económica del bandeo de P para siembra directa en regiones con suelos y clima similares a los de los ensayos discutidos. Pequeñas ventajas del bandeo no compensan los mayores costos de aplicación ni las inconveniencias prácticas. Varias razones pueden explicar este resultado ya sea para siembra directa o con laboreo vertical. Una razón puede ser que ninguno de los suelos tenía contenido de P extremadamente bajos. Es de esperar que el bandeo sea más eficiente en suelos extremadamente deficientes y cuando se usan dosis bajas de fertilizante. Otra razón puede ser que los suelos no son muy "fijadores" de P. Pero las características de los suelos son similares a los de otras regiones en donde en el pasado se le ha dado mucha importancia a la "fijación" de P, lo que sugiere que la retención de P tal vez no siempre sea un aspecto tan grave como se ha asumido. Esta idea es parcialmente corroborada no solo por los resultados discutidos sino también por resultados de los experimentos de larga duración en Iowa y en otras regiones que muestran que la remoción de P con las cosechas es más importante en determinar tendencias de valores de análisis de suelo a lo largo del tiempo dentro de cierta zona geográfica.

También es probable que muchos nos hayamos olvidado de que en siembra directa y a veces con laboreo vertical, la fertilización al voleo es en realidad un bandeo horizontal. Estudios de retención y liberación de P demuestran que la retención de P es reducida en los primeros cm de suelo de campos en siembra directa comparado con suelos laboreados, probablemente debido a un menor contacto con el suelo y a un marcado aumento de materia orgánica humificada o en proceso de

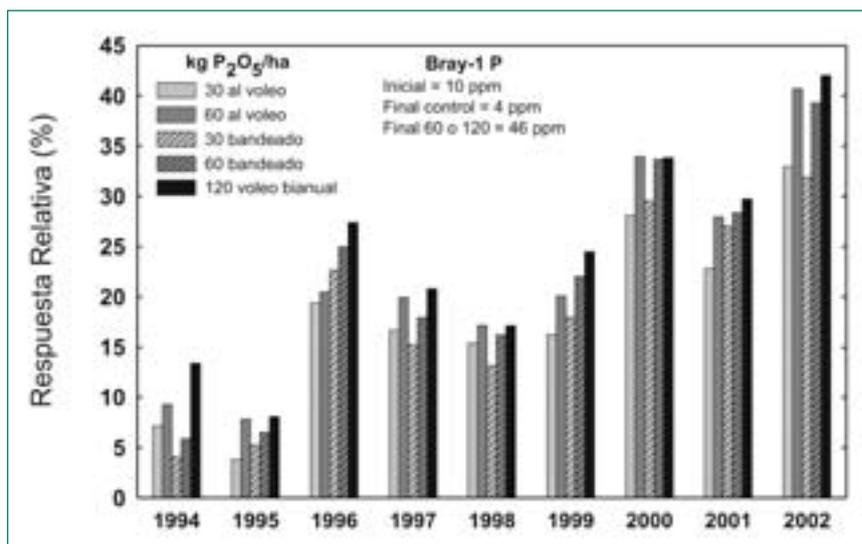


Figura 3. Efecto de estrategias a largo plazo de aplicación de fertilizante fosfatado para la rotación maíz-soja en siembra directa (promedios de dos ensayos de Iowa donde hubo respuesta a la fertilización). Los tratamientos se evaluaron en experimentos idénticos adyacentes en los cuales maíz y soja se alternaron cada año. Los datos son incrementos relativos promedios para los dos cultivos expresados con relación al control no fertilizado.

humificación que reduce la adsorción y retrogradación de compuestos solubles de P.

Finalmente, otro aspecto a considerar es que en los experimentos de Iowa y del cinturón maicero, la fertilización al voleo se hizo de tres a cinco meses antes de la siembra, como hacen los productores debido al régimen climático. Si bien esto se está investigando en este momento con nuevos ensayos, es muy probable que la fertilización con anterioridad a la siembra sea más eficiente porque hay más tiempo para que el P llegue a incorporarse (acción de la lluvia y fauna, grietas, etc.), en los primeros cm de suelo. Este es otro aspecto en el cual viejos conceptos útiles para siembra convencional, tales como que el P debe aplicarse lo más cerca de la siembra posible, probablemente no sean razonables para laboreo conservacionista.

Hay otros aspectos a considerar al hacer recomendaciones para productores que son más difíciles de cuantificar. Es muy común que los investigadores enfoquemos interpretaciones solamente en diferencias físicas de rendimiento y económicas que no consideran los aspectos prácticos ni la filosofía del productor para uso de fertilizantes u otros insumos y su actitud respecto a riesgo. ¿Cuál es el costo de la aplicación bandeada comparado con la fertilización al voleo pero considerando no solo el costo al comprar el equipo sino también costos de mantenimiento y de tiempo invertido para reparaciones y para sembrar? ¿Cuál es la dosis de fertilizante recomendada y cual es la que se va a aplicar y para qué cultivo? ¿Que es mejor (físicamente, económicamente), fertilizar a cada cultivo o planear la fertilización de la rotación? ¿Que se pretende optimizar, el retorno a la fertilización (considerando el material y la aplicación) o el retorno a la producción? ¿Cuál es la filosofía de manejo del productor en términos de inversión en manejo y tiempo y aversión al riesgo?

Existen dos ejemplos muy concretos que muestran como las filosofías de interpretación de análisis de suelo y manejo de la fertilización hacen que algunas ideas preconcebidas no se cumplan. Debido al uso generalizado de fertilización bianual para la rotación maíz-soja antes de sembrar el maíz, siempre se agrega P o K en exceso de lo que el primer cultivo necesita. Esto hace que en muchos casos aún grandes ventajas de la aplicación bandeada con la sembradora o efectos significativos del momento de aplicación sean irrelevantes en la práctica. El otro caso se refiere al uso de técnicas de agricultura de precisión tales como fertilización con dosis variables basado en un muestreo de suelo denso. La investigación en Iowa indica que si bien teóricamente el uso de la tecnología variable debería aumentar los rendimientos y el beneficio económico de la fertilización, este no es el caso para la mayoría de los productores. Una de las razones más importantes es que se usa una filosofía cercana a la de “subir y mantener” con dosis para suelos deficientes que no sólo se calculan para obtener el óptimo rendimiento económico sino el máximo rendimiento y para subir los niveles de nutrientes en un plazo razonable. Es probable

que el retorno económico a la fertilización variable sea mayor si se usara una filosofía más cercana a la del “nivel de suficiencia” basada en dosis de fertilización más bajas o conservadoras y para cada cultivo.

Comentarios finales

Investigadores y extensionistas están continuamente intentando mejorar las recomendaciones de fertilización. Nuevas tecnologías y cambios en las condiciones de la producción hacen que aspectos que parecían solucionados hace mucho tiempo deban reevaluarse. Estos cambios generan dudas en cuanto al valor y al uso que se le está dando a herramientas de diagnóstico de fertilidad, a determinados métodos de aplicación de fertilizantes y a conceptos en los cuales se basan las recomendaciones.

Es claro que se necesita un mayor énfasis en el marco general de la producción, aspectos prácticos que los investigadores generalmente no consideramos y la filosofía de manejo de los productores además de la respuesta física o económica de un cultivo en particular. Esto resultaría en recomendaciones más defendibles y más útiles. Diferencias aparentemente significativas entre métodos de análisis, dosis de fertilización, o métodos de aplicación de fertilizantes, a menudo se hacen irrelevantes cuando se consideran en el marco global de las estrategias para el manejo de la fertilidad, de cultivos y de la economía de la producción. Aspectos tales como la tenencia de la tierra, actitud respecto al riesgo, e importancia dada al tiempo dedicado al manejo serían mucho más importantes que las diferencias que resultan de la experimentación.

No se pretende oponer distintas filosofías o la validez de experimentación o recomendaciones, pero es mi opinión, que los investigadores nos olvidamos de muchas cosas cuando hacemos recomendaciones rígidas, dando la impresión que existe solo una manera eficiente de hacer las cosas. Es evidente que los costos de aplicación, maquinaria (incluso su mantenimiento), el tiempo que el productor dedica tanto a la planificación como al manejo y actitudes respecto al riesgo pueden jugar un rol más importante que diferencias en respuesta. Por ejemplo, en algunos casos la fertilización con aplicaciones al voleo baratas para la rotación, no necesariamente para un cultivo, espaciadas en el tiempo puede ser la alternativa más practica y económicamente más efectiva. En otros casos, aplicaciones más bajas para cada cultivo tal vez sea la mejor alternativa.

Por ultimo, los resultados que se mostraron y los conceptos discutidos no deben extrapolarse ciegamente a otras regiones y muestran la importancia de conducir ensayos regionales varios años antes de hacer recomendaciones. Si bien esto es sabido, la escasa financiación a menudo obliga a investigadores a hacer recomendaciones que se basan ya sea en unos pocos ensayos que tienen poco valor de extrapolación o en consideraciones teóricas que tal vez no se apliquen a las condiciones reales de producción. ■

Manejo del fósforo y el azufre en una secuencia de cultivos del centro de Santa Fe

Hugo S. Vivas¹, Ricardo Albrecht¹ y José. L. Hotián²

⁽¹⁾ INTA EEA Rafaela, ⁽²⁾ Cooperativa Bernardo de Irigoyen
hvivas@rafaela.inta.gov.ar

Introducción

La investigación iniciada en el año 2000 en la Unidad Demostrativa Agrícola (UDA) de Bernardo de Irigoyen con variantes de fertilización con fósforo (P) y azufre (S) en la secuencia Trigo/Soja^{2°}-Soja^{1°}-Maíz^{1°}, demostró que la aplicación única de los nutrientes produjo aumentos significativos de rendimientos en todos los cultivos y efectos residuales decrecientes (Fontanetto et al., 2003; Vivas, 2003). El nitrógeno (N) fue suministrado mediante la aplicación de una única dosis en las gramíneas.

La absorción total de P y S en las cuatro cosechas del ciclo iniciado en el año 2000 fue de 77 kg y 71 kg, respectivamente. Un segundo ciclo de la secuencia iniciado en el 2003, tuvo una ligera modificación en el orden de los cultivos, alternando gramíneas y leguminosas: Trigo/Soja^{2°}-Maíz^{1°}-Soja^{1°}. En esta ocasión, la estrategia consistió en realizar la fertilización compuesta PxS en el primero y en el tercer cultivo. El objeto de la experiencia consistió en evaluar diferentes dosis de P y S y sus efectos residuales en la producción de cultivos de una secuencia.

Metodología

En la rotación trigo/soja^{2°}-maíz^{1°}-soja^{1°}, las necesidades de N para las gramíneas fueron satisfechas en cada ocasión y en plenitud para no constituir un factor de variación. El P y el S se aplicaron en el trigo y en el maíz para tener beneficios residuales en la soja.

Los tratamientos fueron una combinación de P (0, 20 y 40 kg/ha) y de S (0, 12, 24 y 36 kg/ha), en un diseño de parcelas divididas en bloques completos al azar con

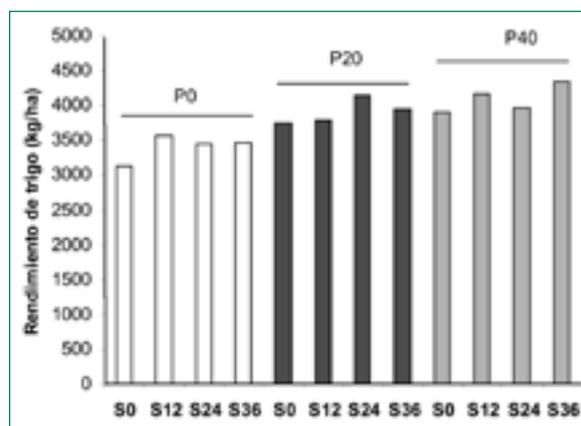


Figura 1. Producción de trigo con diferentes niveles de P y S dentro de la secuencia Tr/Sj-Mz^{1°}-Sj^{1°}. Unidad Demostrativa Agrícola. Bernardo de Irigoyen. 2003.

cuatro repeticiones, donde el P constituyó la parcela principal y el S las subparcelas. La unidad experimental fue de 4,2 m x 12 m. El P se aplicó bajo la forma de superfosfato triple de calcio (P=20%) y el S como yeso (S=18%). En trigo y en maíz se utilizaron 60 y 100 kg/ha, respectivamente, de N como urea (N= 46%).

El contenido inicial de P extractable fue de 6 ppm, de N-NO₃⁻ de 7 ppm y S-SO₄⁻² de 6 ppm. El fertilizante con P se incorporó con la sembradora mientras que el N y el S se distribuyeron al voleo al momento de la siembra.

La variedad de trigo utilizada fue Klein Chajá que se sembró el 26-6-2003 y se cosechó el 21-11-2003. La variedad de soja fue RA 500 que se sembró el 21-11-2003 y se cosechó el 26-4-2004. Luego de evaluar la producción de trigo y soja de 2° se realizó un análisis del suelo superficial (0-15 cm) para determinar el P extractable residual.

Antes de instalar el tercer cultivo de la secuencia (maíz) se aplicaron nuevamente los tratamientos con P y S con el propósito de satisfacer de nutrientes al maíz y a la posterior soja de 1°. El maíz utilizado fue Rusticana 201, sembrado el 5 de setiembre de 2004 y cosechado el 15 de febrero de 2005. En noviembre de 2005 se sembrará la soja de 1°.

Resultados

Producción de Trigo

Las precipitaciones durante marzo (102 mm), abril (243 mm) y mayo (83 mm) fueron importantes, por lo que se logró una buena recarga de agua en el perfil de suelo, aspecto relevante en trigo (Villar, 2000). De igual modo, las precipitaciones ocurridas durante el período vegetativo particularmente en julio (35 mm) y agosto (67 mm), que normalmente son meses deficientes. La etapa de encañazón y floración del trigo ocurrió en óptimas condiciones de humedad. En octubre, la precipitación fue moderada (55 mm) y, en consecuencia, la incidencia de enfermedades foliares fue baja. Los resultados pueden verse en la Figura 1.

La producción de trigo osciló entre 3137 kg/ha para el tratamiento testigo absoluto y 4340 kg/ha para el tratamiento P40S36, con un promedio del ensayo de 3801 kg/ha y un rango de 1203 kg/ha. El coeficiente de variación fue 6,6%. Las diferencias productivas encontradas no son frecuentes en trigo pero se debieron a la confluencia de altos niveles de fertilización y condiciones ambientales muy favorables tanto para la fase vegetativa como para el llenado del grano y la sanidad.

La interacción PxS no fue significativa (Pr>F= 0,2550). El P tuvo un efecto positivo sobre la producción (Pr>F= 0,0008) al igual que el S (Pr>F= 0,0199).

Los promedios de rendimiento debido al P fueron: 3405, 3907 y 4091 kg/ha para las dosis P0, P20 y P40 kg/ha, respectivamente, con incrementos de 502 kg/ha y 686 kg/ha por sobre el testigo. El P extractable inicial del suelo (6 ppm) fue muy deficiente para la magnitud de los rendimientos alcanzados.

Con el nivel P0, las diferentes dosis de S tuvieron un comportamiento similar, con P20, la mayor respuesta se dio con las dosis S24 y S36, mientras que con P40 hubo aumentos con S12 y también con S36 (Figura 1). Este comportamiento estuvo relacionado con la magnitud de producción. El factor S fue significativo y lineal ($Pr > F = 0,0047$). Los aumentos con S12, S24 y S36, respecto de S0 fueron 242 kg, 255 kg y 327 kg, respectivamente.

Producción de Soja de 2°

La soja de 2° se caracterizó por tener una deficiencia hídrica extrema que alteró la expresión de los rendimientos y la respuesta a los fertilizantes. Para noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, las precipitaciones fueron de 38, 85, 85, 30 y 82 mm, respectivamente. Recién en abril se recibió una precipitación importante (165 mm), pero no incidió sobre los rendimientos finales. Los resultados pueden verse en la Figura 2.

En los tratamientos donde la producción de trigo fue mayor, se obtuvieron los menores rendimientos de la soja y viceversa. Los beneficios residuales, que generalmente son altos en la soja de 2° (Vivas et al., 2001), no se expresaron en esta ocasión debido al marcado déficit hídrico. El rendimiento medio del ensayo fue de 1196 kg/ha y el coeficiente de variación de 20,3%.

La interacción P x S no fue significativa ($Pr > F = 0,89$). Tampoco lo fue el factor P ($Pr > F = 0,103$), aunque la tendencia fue a disminuir los rendimientos con las dosis mayores: 1259, 1317 y 1010 kg/ha para P0, P20 y P40, respectivamente.

Las diferencias producidas por el S fueron significativas ($Pr > F = 0,024$) y a diferencia del P, las dosis mayores produjeron más: 1070, 1090, 1327 y 1296 kg/ha para S0, S12, S24 y S36, respectivamente.

En la Figura 3 se aprecia el contenido de P extractable residual en el suelo (0-15 cm) posterior al doble cultivo. Para el nivel P0, el valor medio fue 11,95 ppm, para P20 de 13,4 ppm y para P40 de 16,5 ppm. Si consideramos a 15 ppm como nivel deseable para una secuencia, el único conjunto con suficiencia fue el tratamiento con P40. La baja producción de soja permitió que el tratamiento P0 recuperara por incubación natural los valores de P extractable.

En el nivel P0 y a través de los niveles de S, el P extractable tendió a disminuir y se explicaría porque con azufre el trigo y la soja rindieron más. Por lo tanto, debió haber más consumo nativo del P edáfico. Con P20, la tendencia fue aumentar los niveles de P extractable con los niveles de S, en cambio, con P40 dicho nivel aumentó con S12 pero luego disminuyó con S24 y S36.

Producción de Maíz de 1°

Las precipitaciones en el período de interés para el cultivo fueron las siguientes: setiembre (16 mm), octubre (74 mm), noviembre (105 mm), diciembre (176 mm), enero (97 mm) y febrero (43 mm). El período crítico (noviembre y diciembre), fue bien cubierto en la distribución de agua.

Se encontraron respuestas significativas entre los tratamientos ($Pr > F = 0,0001$) con un coeficiente de variación de 7,8% y un ajuste $R^2 = 0,83$. Las diferencias por los factores P y S fueron significativas, $Pr > F = 0,0137$ y $Pr > F = 0,0001$, respectivamente. Fue muy evidente la respuesta al P, pero más notable fueron los aumentos debido al S. Hubo interacción significativa P x S ($Pr > F = 0,025$), por lo tanto las variaciones se aprecian mejor en la Figura 4.

En todos los niveles de P se apreció un incremento de producción debido a la dosificación con S pero los aumentos más notables y con tendencia lineal fueron con los niveles P20 y P40. Con el nivel P0, los incrementos fueron importantes pero con una tendencia cuadrática más que lineal. De este modo se puede interpretar la interacción detectada. Fue notable la manifestación del S que logra producir aumentos de rendimientos aún con niveles bajos de P. Los rendimientos de maíz se asociaron a la producción de granos/m² y la misma se puede ver en la Figura 5.

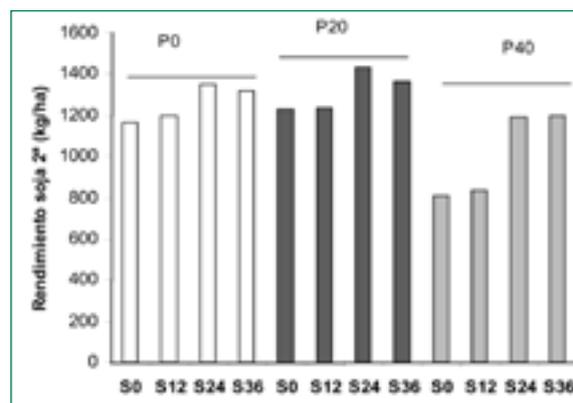


Figura 2. Producción de Soja de 2° con dosis residuales de P y de S en una rotación. Bernardo de Irigoyen. 2004.

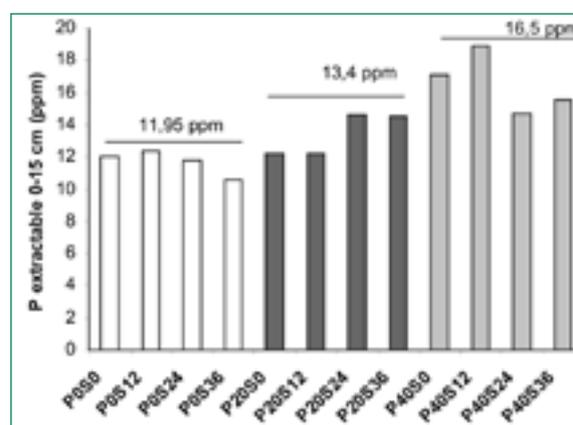


Figura 3. Fósforo extractable (0-15 cm) luego del doble cultivo trigo-soja. Bernardo de Irigoyen. 2004.

Consideraciones Generales

- Los resultados demostraron la importancia de las precipitaciones bajo condiciones de secano y, en particular, durante el eslabón trigo-soja.
- Con suficiencia de agua, muy baja presencia de enfermedades fúngicas y una adecuada fertilización N-P-S, se pudieron alcanzar óptimos rendimientos de trigo.
- Los niveles de P extractable, luego del doble cultivo trigo/soja, demostraron la necesidad de volver a suplir con este nutrimento a los próximos cultivos de la secuencia (maíz-soja).
- La fertilización al momento de la siembra de maíz produjo aumentos productivos de importancia debido al P y al S y la residualidad será evaluada posteriormente en el cultivo soja de 1°.

Referencias

Fontanetto, H. ; H. S. Vivas; R. Albrecht y J. Hotian. 2003. La Fertilización con N, P y S y su resi-

dualidad en una secuencia agrícola de la región central de Santa Fe. Efecto sobre el rendimiento de granos. INPOFOS Cono Sur. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Simposio: El Fósforo en la Agricultura: 91-92.

Villar, J. 2000. Economía del agua en el cultivo de trigo. Información Técnica de Trigo. Campaña 2000. INTA EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 92.

Vivas, H. S.; H. Fontanetto; R. Albrecht; M. A. Vega y J. L. Hotian. 2001. Fertilización con P y S en el doble cultivo trigo-soja. Residualidad en soja. Respuesta física y económica. Información Técnica de Cultivos de Verano. Campaña 2001. INTA EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 95. Anuario 2001 de la EEA Rafaela.

Vivas, H. S. 2003. Fertilizando el Suelo: Residualidad de los fertilizantes en rotaciones de cultivos y pasturas. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. XI Congreso de AAPRESID, "Simposio de Fertilidad y Fertilización en Siembra Directa". Bolsa de Comercio de Rosario. 26 al 29 de agosto de 2003.

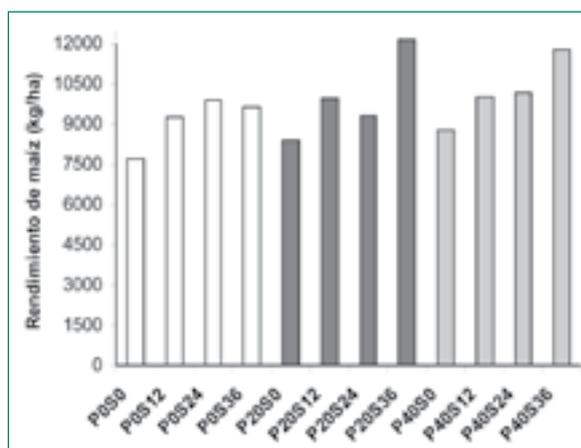


Figura 4. Producción de maíz Rusticana 201 con fertilización combinada de P y S. Bernardo de Irigoyen. 2004-05.

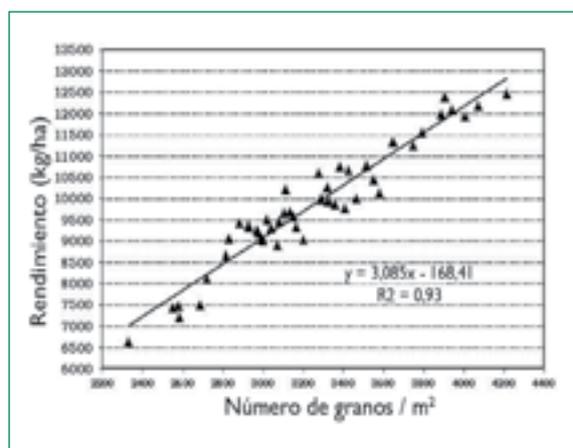


Figura 5. Producción de maíz Rusticana 201 y el número de granos/m². Bernardo de Irigoyen 2004-05.



XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo
y Primera Reunión de Suelos de la Región Andina
Salta-Jujuy, 18-22 de Septiembre de 2006



La Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACS) y la Comisión Organizadora del "XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo" invitan a participar del mismo a socios, investigadores, profesionales, organismos oficiales y privados, empresas, productores y estudiantes de nuestro país y del extranjero comprometidos con el estudio y desarrollo del conocimiento del suelo.

Fecha de recepción de trabajos:

1 de octubre de 2005 hasta el 12 de mayo de 2006.

Más información en:

Fondo Especial del Tabaco . Pueyrredón 378 Salta. Tel. (0387)-4220300
comision@suelossaljuy.org.ar
www.suelossaljuy.org.ar - www.suelos.org.ar

Fertilización con fósforo y potasio en soya en la zona Norte-Integrada de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia

Ing. Agr. M.Sc. Juan Carlos Quevedo Camacho

UNISOYA (Unión de Empresas Agropecuarias del Norte), Santa Cruz de la Sierra, Bolivia

quevedo_jc@hotmail.com

La fertilización de la soya es una práctica cada vez más difundida en Santa Cruz de la Sierra (Bolivia). El continuo proceso de deterioro en la fertilidad de los suelos ha provocado la aparición de respuestas a la fertilización con fósforo (P) y con potasio (K) en varias propiedades del departamento. Adicionalmente, muchos campos se encuentran en monocultivo, por lo que la única vía de reposición de nutrientes es la fertilización de la soya.

La reconocida fragilidad de la zona Norte-Integrada, y dentro de ella la zona de Aguais, requiere un conocimiento detallado de sus aptitud y potencialidades y un cuidado particular en su manejo. Estamos convencidos que estas premisas no solo son válidas a nivel regional, lo que implicaría una planificación territorial y decisiones colectivas o gubernamentales, sino también a nivel de los propios predios individuales, dónde la decisión está en manos de cada productor.

UNISOYA (Unión de Empresas Agropecuarias del Norte) desde hace varias campañas ha evaluado la respuesta a la fertilización con P y con K del cultivo en diferentes localidades desde Chané hasta Nueva Toledo. Estos ensayos, integrados a otros estudios realizados por empresas agrícolas, están permitiendo identificar respuesta a estos nutrientes en áreas con historial de desmonte de aproximadamente 8 años. En promedio y en el caso del P, se observa una elevada frecuencia de respuesta cuando los lotes son oriundos de vegetación de "chuchiales" *Gynerium sagittatum* (aubl.) y en suelos

con clases texturales franco-arenosos a franco-limosos con umbrales críticos de P (método Olsen Modificado) menores a 4 mg kg^{-1} (Quevedo et al, 1995). Para el caso del K, se han observado respuestas variables en función a los niveles de K intercambiable existentes en la zona, variando de 0.1 a 0.8 cmol kg^{-1} de suelo, predominando valores intermedios.

En este escrito se presentan los resultados de una nueva experiencia realizada en la campaña de invierno 2004, para la validación de estas observaciones.

Materiales y métodos

Se realizó una experiencia en la localidad de Aguais, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia; en la propiedad "Cinco estrellas" (Figura 1). Se combinaron factorialmente i) dosis de fertilización con P (0, 15, 30 y 45 kg/ha de P_2O_5) y ii) dosis con K (0, 15, 30 y 45 kg/ha de K_2O), empleándose fosfato diamónico (DAP) y cloruro de potasio (KCl), respectivamente. En todos los casos, los niveles de N se equilibraron con la aplicación correctiva correspondiente de urea. Los tratamientos evaluados se observan en la Tabla 1.

El lote donde se estableció el ensayo fue desmontado en el año 1995 y se cultivo fundamentalmente con soya en invierno y verano en los últimos 8 años. El cultivo antecesor fue soya y la siembra se efectuó el 12 de julio de 2004, con sembradora John Deere a 0,42 m entre líneas, usando la variedad Tucunaré, con

Tabla 1. Tratamientos de fertilización evaluados en el ensayo de UNISOYA, en Aguais, Santa Cruz, Bolivia.

Tratamientos	P_2O_5 (kg/ha)	K_2O (kg/ha)
1 (Testigo)	0	0
2	0	15
3	0	30
4	0	45
5	15	0
6	15	15
7	15	30
8	15	45
9	30	0
10	30	15
11	30	30
12	30	45
13	45	0
14	45	15
15	45	30
16	45	45



Figura 1. Mapa departamental de Bolivia mostrando Aguais y Santa Cruz de la Sierra. Fte.: Instituto Nacional de estadística, INE-Bolivia.

una densidad de 18 semillas/m lineal.

En el momento de la siembra se tomaron muestras de suelo de la capa de 0-20 cm para su descripción y comparación con las provenientes de un monte natural aledaño al sitio de estudio. Se tomaron muestras foliares del cultivo en tratamientos selectos al estadio reproductivo R-2 para su caracterización nutricional.

Se evaluaron los componentes del rendimiento (número de plantas, vainas por planta, granos por metro cuadrado, peso individual de granos) y la producción de granos en madurez fisiológica.

Cada unidad experimental se componía de 5 surcos por 13 m de longitud y los fertilizantes se aplicaron cuando los cotiledones estaban completamente fuera, incorporados manualmente al costado y por debajo de la línea de siembra.

El diseño experimental consistió en bloques al azar con 16 tratamientos y 3 repeticiones. El análisis estadístico se realizó a través del MSTATC utilizando ANOVA y el test de Tukey para la comparación entre medias. Además se realizaron análisis de regresiones con ajustes de modelos cuadráticos.

Las precipitaciones y las temperaturas medias registradas quincenalmente durante el crecimiento del cultivo se indican en la Figura 2.

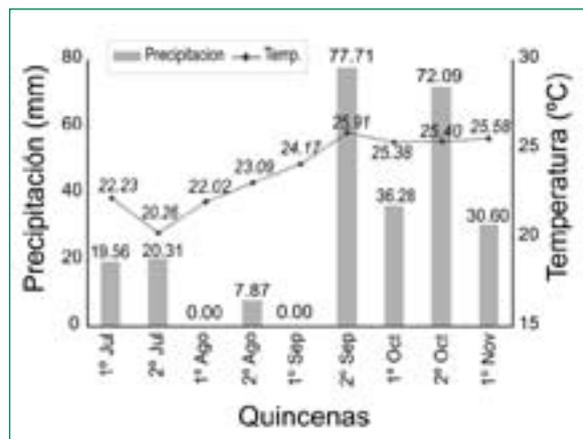


Figura 2. Precipitación y temperaturas medias quincenales registradas en la propiedad “Cinco estrellas” en la Campaña de Invierno 2004, Aguais, Santa Cruz, Bolivia.

Resultados y discusión

El análisis de suelo mostró una disminución de la concentración de P y K con respecto a la muestra de suelo del monte natural (Cortina Norte), indicando la degradación química a través del tiempo producto mayormente de la extracción en los granos y otros procesos (por ej., empobrecimiento de residuos orgánicos) (Quevedo et al., 1996), (Tabla 2a y b). Asimismo, se observa una marcada disminución en calcio y magnesio respecto del monte natural, mientras que el nivel de materia orgánica presenta una disminución menor.

En la Tabla 3 se hallan los resultados de las muestras foliares de ciertos tratamientos. Podemos apreciar una correlación positiva entre la absorción de P en la planta, con las dosis que fueron aplicados. Sin embargo, aun con las mayores dosis utilizadas, los tenores no alcanzaron los rangos adecuados señalados por Malavolta et al. (1997). Esto podría indicar que la soja respondería a una mayor dosis. Los niveles de K foliar, se ubicaron en el rango adecuado en todos los tratamientos. Entre los otros nutrientes, el cobre (Cu) fue el único que se ubicó en valores algo por debajo de los críticos mencionados por Malavolta et al. (1997).

Los rendimientos de soja variaron entre aproximadamente 1000 kg/ha y casi los 2500 kg/ha, mostrando una estrecha relación con el número de granos por unidad de superficie, y sin ser mayormente afectados por modificaciones en el peso individual de estos (Figura 3 a y b). La Figura 4 muestra diferencias visuales en color y desarrollo del cultivo entre algunos tratamientos en estado vegetativos.

La Tabla 4 presenta un resumen del análisis estadístico (ANOVA), realizado para las distintas variables de cultivo analizadas. No se observaron efectos significativos de interacción P*K y de K en ninguna de las variables. La dosis de P afectó la altura de planta, el número de vainas, el número de granos y el rendimiento. El peso de grano (promedio de 117 mg/grano), no fue afectado por los tratamientos de P, K, o K*P. Estos análisis indican que, en las condiciones de este estudio, el comportamiento de los cultivos a la fertilización con P o con K presentó efectos independientes. Es decir,

Tabla 2a. Datos analíticos de suelo a la siembra del cultivo.

Sitios	pH 1:5 Agua	CE: 1:5	Carbonatos Libres	Ca	Mg	Na	K	C.I.C.	Sat. de Bases
		µS.cm		cmol/kg					%
Ensayos	6.0	61	A	2.9	2.3	0.07	0.27	5.7	96
Monte Natural	6.9	207	A	3.4	5.0	0.16	0.49	9.2	99

Tabla 2b. Datos analíticos de suelo a la siembra del cultivo.

Sitios	Acidez Potencial	P (Olsen Mod.)	M.O.	N Total	Arena	Limo	Arcilla	Textura
	cmol/kg	mg/kg	%					
Ensayos	0.2	3.5	1.5	0.09	17	67	16	FL
Monte Natural	0.1	10	1.8	0.1	22	67	11	FL

que las respuestas descriptas al agregar P ocurrieron estadísticamente por igual en los diferentes niveles de fertilización potásica.

Los mayores rendimientos se lograron con la mayor dosis de P (45 kg/ha P_2O_5) (Tabla 5), Las diferencias fueron debidas fundamentalmente al mayor número de granos obtenidos con esta dosis de P. Para las variables altura de planta y No. vainas por planta, no se observaron diferencias entre las dosis de 30 y 45 kg/ha de P_2O_5 , las que a su vez superaron a las dosis de 0 y 15 kg/ha P_2O_5 .

Los mayores rendimientos se alcanzaron con la aplicación de 43 kg/ha de P_2O_5 , según lo muestra el

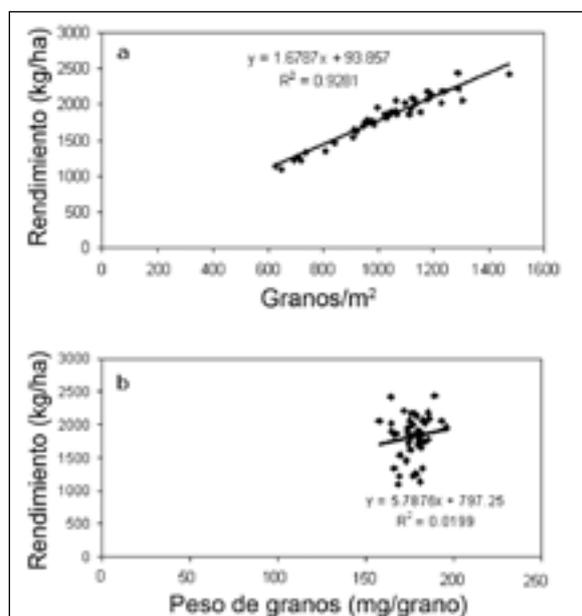


Figura 3. Relación entre la producción de grano de soya y los componentes del rendimiento, número de granos por m^2 (a), y peso de granos (b).

ajuste cuadrático de los rendimientos de soya con la fertilización fosfatada (Figura 5). El ajuste lineal me-seta podría sugerir niveles de máximo rendimiento alcanzables con aplicaciones de aproximadamente 22 kg/ha de P_2O_5 , siendo conveniente la disponibilidad de más información (estudios similares pero bajo nuevas condiciones ambientales) para un mejor ajuste de esta dosis. El hecho de que se lograron los mayores rendimientos con la dosis máxima evaluada de 45 kg/ha de P_2O_5 , también indica que a nivel experimental sería conveniente evaluar dosis más elevadas para definir de manera más precisa la dosis óptima.

Las respuestas a la aplicación de P confirman la necesidad de aplicación de fertilizantes fosfatados en suelos con bajos niveles de P extractable como en este caso (3.5 ppm P Olsen). Calibraciones realizadas en el estado de Iowa (EE.UU.), con el mismo extractante



Figura 4. Efecto de la fertilización fosforada y potásica en soya. Se observa diferencia en la coloración de las hojas, alturas de plantas y cierre del entresurco, en los diferentes tratamientos. Propiedad "Cinco estrellas", Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Campaña Invierno 2004.

Tabla 3. Datos analíticos del tejido foliar a la floración del cultivo.

Tratamientos	Concentración											
	% sobre materia seca							ppm sobre materia seca				
	N	P	Na	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
0 P_2O_5 + 0 K_2O	4.70	0.18	0.10	2.00	0.93	0.45	0.34	489	86	8	53	39
0 P_2O_5 + 45 K_2O	4.70	0.19	0.11	2.06	0.91	0.43	0.35	400	81	9	59	36
45 P_2O_5 + 0 K_2O	4.90	0.23	0.11	2.12	0.83	0.44	0.31	445	80	9	43	36
45 P_2O_5 + 45 K_2O	5.30	0.25	0.11	2.14	0.76	0.42	0.32	475	83	10	47	35
Rango Crítico ¹	4.5-5.5	0.26-0.5	-	1.7-2.5	0.2-0.4	0.3-1.0	0.25	51-350	21-100	10-30	21-50	21-55

¹ Rangos críticos indicados por Malavolta et al. (1997).

Tabla 4. Resumen del análisis estadístico (ANOVA) para las distintas variables de cultivo evaluadas.

Fuente de variación	Altura de plantas	No. Vainas	No. Granos	Peso de grano	Rendimiento
K	NS ¹	NS	NS	NS	NS
P	*	*	*	NS	*
P*K	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)	5.9	16.8	12.6	4.4	13.2

¹ NS= no significativo; * = significativo al nivel de 1%.

de Olsen, indican que la probabilidad de respuesta a la fertilización fosfatada en soja es alta con niveles de P Olsen menores de 10 ppm, y muy alta con niveles por debajo de las 5 ppm (Mallarino, 2005).

Con relación al K, los resultados corroboraron que con los niveles moderados existentes en el suelo (Tabla 2), y con los rendimientos obtenidos en este ensayo, la fertilización potásica no sería necesaria. Sin embargo, vale destacar la importancia de fertilizar con K fundamentalmente con la finalidad de reponer el elemento exportado en la cosecha.

Conclusiones

En las condiciones de este estudio se ha descrito la conveniencia de fertilización fosfatada para alcanzar altos rendimientos de soja en el zona de Aguáis (Bolivia). Los rendimientos máximos se alcanzaron

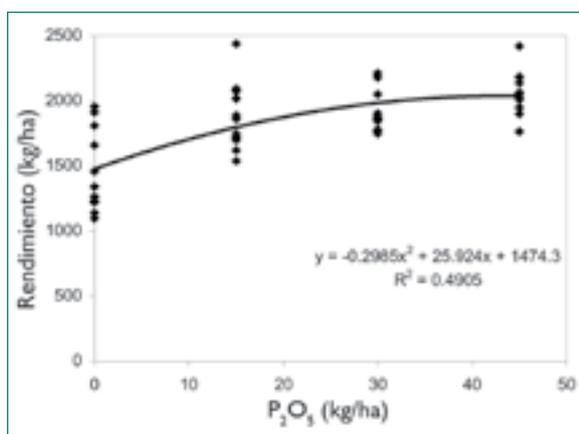


Figura 5. Rendimiento de soja según niveles de fertilización fosforada con P₂O₅.

Tabla 5. Efecto de las dosis de P sobre las variables de cultivo evaluadas.

Dosis de P (kg/ha P ₂ O ₅)	Altura de plantas (cm)	No. Vainas (vainas/planta)	No. Granos (granos/m ²)	Rendimiento (kg/ha)
0	54.8 c ¹	13.0 b ¹	816.7 c ¹	1450 c ¹
15	59.7 b	14.4 b	1035.8 b	1868 b
30	62.7 a	16.3 a	1073.2 b	1911 b
45	64.9 a	17.4 a	1193.4 a	2060 a

¹ Valores seguidos por la misma letra en cada columna no difieren significativamente al nivel de probabilidad del 5%.

con la dosis máxima evaluada de 45 kg/ha de P₂O₅, y se estimó una dosis de 43 kg/ha de P₂O₅ para el rendimiento máximo económico. No obstante, este estudio no es conclusivo, en particular con referencia a los niveles de fertilización requeridos para maximizar los rendimientos, y sería conveniente su repetición en diferentes condiciones ambientales (varias campañas), para un mejor y conclusivo ajuste de la respuesta del cultivo al P. La respuesta a K debe ser evaluada bajo otras condiciones de disponibilidad en el suelo en otros ambientes.

Bibliografía

Quevedo, J. C. 1995. Efeito do balanço de cátions e ânions da planta na acidificação do solo por fertilizantes nitrogenados. Piracicaba. 106 p. (Dissertação de Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"- ESALQ/USP, Brasil.

Quevedo, J. C. 1996. Efectos de sistemas de labranza en las propiedades químicas del suelo. "Curso Intensivo de Siembra Directa" PROCISUR (Programa de Cooperación para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario del Cono Sur (Argentina-Bolivia-Brasil-Chile-Paraguay-Uruguay), Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, 5 - 8 Noviembre 1996.

Malavolta E., G. Vitti y S. Oliveira. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas. 2ª. Ed. POTAFOS. Piracicaba, Sao Paulo, Brasil. 319 p.

Mallarino A. 2005. Criterios de Fertilización Fosfatada en Sistemas de Agricultura Continua con Maíz y Soja en el Cinturón del Maíz. Actas CD Simposio "Impacto de la Intensificación Agrícola en el recurso Suelo". SUCS-AACS. Colonia del Sacramento, Uruguay, 6-7 Octubre 2005.



IV CONGRESO NACIONAL DE LA CIENCIA DEL SUELO

Tarija,
8-11 de Marzo
de 2006

SOCIEDAD BOLIVIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO - Regional Tarija
"La investigación, uso y manejo del suelo para una producción sostenible"

Organización: Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo (SBCS), UAJMS, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la UAJMS y Prefectura Departamento Tarija

Convocatoria: La Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo, a través del Comité Organizador, invita a sus socios, profesionales, estudiantes, Empresas y/o entidades públicas y privadas interesadas que trabajan en las diferentes ramas de la Ciencia del Suelo, a participar en el IV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.

Objetivos:

- Intercambiar los últimos avances en experiencias y conocimientos sobre tecnologías de manejo y conservación del suelo.
- Promover la investigación del recurso suelo y su interacción con otras ciencias afines.
- Analizar diferentes temas de actualidad de la problemática nacional relacionada con el suelo y el desarrollo agropecuario. Continuar con el reencuentro, la integración y el fortalecimiento de lazos de intercambio y solidaridad de nuestras sociedades regionales y asociados en general.

Información: Universidad Autónoma Juan Misael Caracho (Tarija, Bolivia) - www.uajms.edu.bo/congreso_suelos/

Soja: Efecto de los fertilizantes aplicados en la línea de siembra sobre el número de plantas y el rendimiento

Luis A. Ventimiglia y Héctor G. Carta

UEEA INTA 9 de Julio, 9 de Julio, Buenos Aires, Argentina

a9julio@internueve.com.ar

Cada campaña agrícola que los productores enfrentan, se encuentran con la necesidad de aplicar fertilizantes en los cultivos extensivos, a fin de obtener rendimientos adecuados que tornen rentable a la agricultura de estas épocas. Dentro de los cultivos de invierno, el trigo es el más fertilizado en la pampa húmeda y en lo que respecta a los de verano, el maíz ocupa ese mismo lugar. Esto no quiere decir que los demás cultivos no se fertilicen, por el contrario, hoy en día tanto la cebada, colza, centeno, soja, girasol, sorgo, etc, son fertilizados también con cantidades variables de fertilizantes químicos.

Dentro de los nutrientes agregados, el nitrógeno (N) y fósforo (P), se encuentran a la cabeza, tanto en lo que respecta al porcentual del área fertilizada en la región pampeana, como así también en lo concerniente a los kilogramos aplicados por hectárea.

Respecto a la forma de aplicación, los nutrientes pocos móviles como el P tienden a aplicarse en la línea o banda de siembra, con una gran cantidad de variantes respecto a su ubicación de las simientes sembradas. En los últimos años, con la aparición en el mercado de productos formulados como mezclas, sean éstas físicas o químicas, las aplicaciones realizadas en la línea o banda de siembra, además de aportar P, pueden disponer de otros nutrientes tales como N, azufre (S), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), etc.

Cuando la aplicación de los fertilizantes se efectúa de tal manera que el mismo queda en contacto con la semilla sembrada, se pueden producir efectos no deseados, desde el retardo de la germinación, hasta la muerte de la semilla, o en otros casos, cuando ésta logra transformarse en plántula, la muerte de la misma.

El efecto del fertilizante sobre el número de plantas logradas, y posteriormente sobre el rendimiento, va a ser variable en función de muchos aspectos, entre otros podemos mencionar: producto y dosis aplicado; ubicación del fertilizante y semilla, tipo de cultivo sembrado, disponibilidad hídrica, etc.

Los cultivos también presentan sensibilidades dife-

rentes con respecto a los productos aplicados, dentro de los más tolerantes encontramos a los cultivos de invierno y en la vereda opuesta, a los de verano. En estos últimos, además de ser más sensibles por sembrarse grano por grano, los efectos de pérdida de plantas se hacen notar más en el rendimiento final, principalmente, en aquellos cultivos que tienen menor capacidad para compensar, como por ejemplo el maíz.

Año a año en las Agencias de Extensión del INTA se reciben consultas acerca de pérdida de plantas en cultivos de verano, desde aquellos casos extremos de desaparición total del cultivo sembrado, hasta otras situaciones en donde la disminución en el número de plantas no compromete el rendimiento del mismo. Por lo general, las explicaciones son buscadas por parte de los productores indagando en la calidad de la semilla, situación ésta que debería ser conocida antes de sembrar. La acción nociva que puede ejercer el fertilizante en la línea de siembra no siempre es tenida en cuenta, máxime si ese productor viene realizando esa práctica de años anteriores con resultados satisfactorios.

Debemos destacar que la acción nociva de los fertilizantes en el suelo depende de muchas causas, tales como: humedad del suelo, dosis aplicada, ubicación del fertilizante respecto a la semilla, pH del suelo, tipo de sembradora empleada, etc. Estos son, entre otros, los factores por los cuales se obtienen en este aspecto resultados tan variables.

En la campaña 2004/2005, la UEEA INTA 9 de Julio condujo una experiencia con el propósito de corroborar el efecto que presentan algunos fertilizantes sobre el número de plantas y el rendimiento de la soja, cuando los mismos son utilizados a diferentes dosis comerciales.

Del ensayo participaron cuatro productos comerciales, los cuales fueron aplicados con tres dosis (Tabla 1).

Cada parcela contó con 3 surcos separados a 0,70 m entre sí y 7 m de largo. Se utilizó un diseño de bloques al azar con 4 repeticiones. La metodología de trabajo consistió en abrir cada surco, depositar el fertilizante y, a

Tabla 1. Producto, concentración nutricional y dosis probada.

Producto	Concentración Nutricional (%)				Dosis comercial aplicada (kg/ha)
	N	P ₂ O ₅	S	Ca	
Mezcla Física	3	38	5	7,5	30 – 60 – 90
Superfosfato triple de Calcio	0	46	0	14	30 – 60 – 90
Fosfato Monoamónico	11	52	0	0	30 – 60 – 90
Fosfato Diamónico	18	46	0	0	30 – 60 – 90

continuación, sembrar 30 granos de soja cv. DM 4800 por metro lineal, procediéndose a tapar inmediatamente.

También se fue monitoreando la disponibilidad hídrica del suelo en la línea de siembra, a medida que la siembra avanzaba. De esta manera se comenzó a sembrar con suelo a capacidad de campo (Bloque I) y se terminó sembrando, 4 días después (Bloque IV), con un suelo con 60% de agua útil. Esto permitió evaluar, al menos en dos bloques, el efecto que tiene el nivel de humedad sobre la acción nociva del fertilizante.

Resultados obtenidos

Las evaluaciones consistieron en cuantificar la disminución en el número de plantas respecto al testigo no fertilizado, y el rendimiento final del grano alcanzado por cada tratamiento. Estas dos operaciones se efectuaron en la totalidad del surco central de cada tratamiento.

En la Figura 1 se presenta la disminución en el número de plantas respecto al testigo para cada una de las dosis de fertilizante aplicado. Se debe considerar que los análisis estadísticos corresponden a cada dosis en particular.

Los fertilizantes amoniacales (fosfato mono y diamónico) fueron los que presentaron mayor efecto fitotóxico para todas las dosis evaluadas, alcanzando para el fosfato diamónico a la dosis de 90 kg/ha, una mortandad del 55% de plantas respecto al testigo (Figura 1).

Considerando cada dosis en particular, siempre la mezcla y el superfosfato presentaron menos fitotoxicidad que las formulaciones amoniacales, no diferenciándose estadísticamente entre sí.

Cuando se compararon los diferentes niveles de humedad que presentó el suelo, la diferencia entre un buen nivel de humedad y uno menor, fue muy condicionante del número de plantas obtenidas (Figura 2).

A excepción del superfosfato triple de calcio, para los demás fertilizantes a medida que la dosis de los mismos se incrementó también lo hizo la muerte de plantas (Figura 2). En este caso, también las mayores caídas en el número de plantas se da para los fertilizantes amoniacales y para las dosis mayores de producto comercial aplicado.

Este efecto está seguramente asociado a la hidrólisis del fertilizante el cual produce una cantidad importante de amoníaco. Este al liberarse puede resultar tóxico

para las semillas que están germinando o para las plantas ya establecidas.

De las dos fuentes amoniacales, el fosfato diamónico, al tener una concentración superior de N en su formulación, y generar una zona de reacción de pH más alto, cuando se aplican cantidades equivalentes de producto comercial tendría mayor posibilidad de ocasionar daños en la semilla o plántulas, por la mayor liberación de amonio. La reacción que genera el fosfato monamónico (MAP) en el suelo (contacto gránulo de fertilizante-suelo), es ácida (pH 4 – 5), siendo alcalina para el fosfato diamónico (pH 7.5 – 8.5). Estos valores distan mucho de lo que puede generar el superfosfato triple de calcio, en donde en la zona de contacto suelo-granulo de fertilizante, cuando éste se está hidrolizando, se pueden alcanzar valores de pH de 1,5 – 2. De todos modos parecería que los efectos fitotóxicos que se generaron en esta experiencia podrían estar más relacionados al efecto ocasionado por la acción del amoníaco y no tanto por el pH. El efecto osmótico y salino es también algo que no debemos olvidar, principalmente cuando el contenido hídrico del suelo presenta alguna limitación. Debemos recordar que los fertilizantes absorben agua para generar su hidrólisis y de esta manera retener la misma, impidiendo que la semilla pueda embeberse y comenzar el proceso de germinación. A su vez, no se debe descartar el efecto cáustico que estos fertilizantes tienen sobre la semilla o sobre las primeras estructuras generadas por la misma (radícula, hipocótilo, cotiledones, etc).

A nivel de rendimiento no se presentaron grandes diferencias entre los tratamientos (Figura 3). Solamente se establecieron algunas diferencias estadísticas entre el testigo y algunos tratamientos fertilizados. A nivel de valores absolutos se ve una tendencia positiva a la respuesta fosforada, y solamente se aprecia el efecto negativo que habrían causado el DAP y el MAP sobre el número de plantas, traducido en el rendimiento de grano.

Esto puede deberse principalmente a dos causas: las buenas condiciones ambientales que tuvo el cultivo para desarrollarse y a la variedad utilizada, la cual tiene una gran capacidad compensatoria. Es muy posible que estos resultados fuesen muy diferentes para aquellas variedades de ciclos más cortos, con menor poder compensatorio o con condiciones climáticas no tan adecuadas para el desarrollo del cultivo de soja, como las reinantes en la campaña pasada.

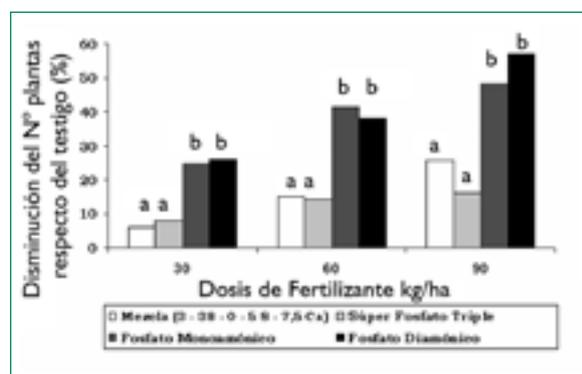


Figura 1. Efecto de los fertilizantes y dosis aplicadas en la línea de siembra sobre el establecimiento del cultivo de soja.

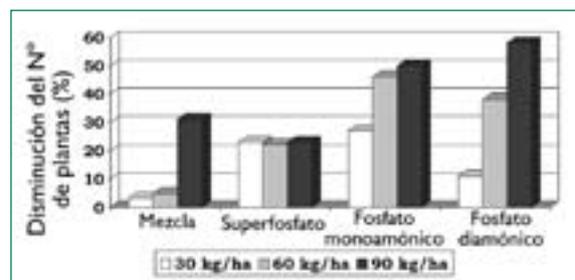


Figura 2. Disminución porcentual del número de plantas de soja cuando fueron sembradas en suelos con 60% de capacidad de campo respecto de suelos a capacidad de campo, para diferentes fertilizantes y dosis comerciales.

Analizando la respuesta de los fertilizantes utilizados, considerando todas las dosis en forma conjunta, todos presentaron rendimientos superiores al testigo (Tabla 2).

De la misma manera se analizó la dosis de fertilizante aplicado independientemente del producto utilizado (Tabla 3).

Con 30 kg/ha de producto comercial se alcanzaron las mayores diferencias en rendimiento. Esto puede deberse a que con las dosis mayores de fertilizante (60 – 90 kg/ha), la muerte de plantas se incrementa y el efecto compensatorio del cultivo, si bien alcanza para equilibrar al testigo, no alcanza para equiparar a la dosis menor de fertilizante usada. Debemos destacar que el nivel de P asimilable inicial que presentó el lote fue de 10 ppm, evaluado en los primeros 20 cm de suelo.

Se detectaron diferencias en función del fertilizantes aplicado fue cuando se compararon los niveles hídricos (Tabla 4). Si bien el testigo manifestó una disminución de rendimiento con menor disponibilidad inicial de agua, fue mucho más importante para las dosis mayores de fertilizante. Esto nos diría que en este caso la compensación que el cultivo experimentó, no alcanzó a cubrir la disminución de rendimiento.

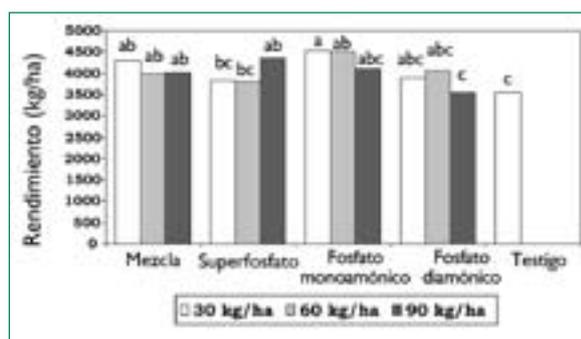


Figura 3. Rendimiento de soja en función del tipo y dosis de fertilizante aplicado en la línea de siembra.

Tabla 2. Rendimiento de soja en función del fertilizante aplicado.

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	Diferencia (kg/ha)
Testigo	3558	---
Fosfato Diamónico	3832	274
Superfosfato	4007	449
Mezcla	4103	545
Fosfato Monoamónico	4383	825

Tabla 3. Efecto de la dosis de fertilizante sobre el rendimiento de soja.

Dosis (kg/ha)	Rendimiento (kg/ha)	Diferencia (kg/ha)
30	4140	582
60	4097	539
90	4007	449
Testigo	3558	----

Tabla 4. Efecto de la humedad inicial sobre el rendimiento de soja de acuerdo a la dosis de fertilizante empleada.

Dosis (kg/ha)	Rendimiento (kg/ha)		Diferencia (kg/ha)
	Suelo a capacidad de campo	Suelo con 60 % de capacidad de campo	
30	4285	4170	115
60	4495	3968	527
90	4198	3772	426
Testigo	4051	3903	148

Comentarios finales

Se debe aclarar que estos resultados son de un año y bajo una condición en lo que respecta a la aplicación de los fertilizantes y las semillas. Normalmente cuando se utilizan máquinas sembradoras hay un cierto grado de entremezclamiento del fertilizante y la tierra, lo cual logra un cierto grado de aislamiento con respecto a la semilla, situación ésta que puede hacer disminuir el efecto fitotóxico de los fertilizantes.

Algo que no fue estudiado en este caso es el efecto que los productos aplicados pudieron tener con respecto a las bacterias fijadoras de N, esto en soja es un tema sumamente importante, el cual requeriría trabajos específicos a futuro para visualizar su incidencia.

Seguramente, la aplicación de fertilizantes alejados de la semilla no provocaría ningún efecto negativo sobre la instalación del cultivo. En aplicaciones localizadas de este tipo, ese sería el sistema que deberíamos procurar. De todos modos, es bien conocido que no todas las máquinas tienen la particularidad de aplicar el fertilizante bajo esa forma. En aquellos casos que se deba aplicar en forma conjunta, se deberá tener en cuenta el tipo de máquina utilizada, la dosis de producto a aplicar, el tipo de fertilizante, la variedad empleada, y el nivel hídrico que presenta el suelo al momento de sembrar. Todos estos factores los podemos conocer, los mismos interactuarán con el ambiente a lo largo del ciclo del cultivo, situación que no conocemos, esto podría agravar o amortiguar los diferentes efectos que se establezcan entre los productos aplicados y las semillas en germinación.

Agradecimiento: Los autores agradecen a los Sres Bueno y Scalice, propietarios del predio “Parque Industrial”, lugar donde se condujo la experiencia. ■