

# DISPONIBILIDAD DE POTASIO EN SUELOS Y PRODUCTIVIDAD DE SOJA EN BRASIL

**Fábio Cesar da Silva** (*Embrapa Informática Agropecuária, Campus da UNICAMP, fcesar@cnptia.embrapa.br, Campinas SP*);

**Áureo Francisco Lantmann** (*Embrapa Soja, aureo@cnpso.embrapa.br*);

**José Renato Boucas Farias** (*Embrapa Soja, jrenato@cnpso.embrapa.br, Londrina PR*);

**Belén Alapont Aznar** (*Universidad Politécnica de Valencia, España, bea/az@hotmail.com*).

## RESUMEN

*La producción de soja en Brasil, a partir de la década de los 70 comenzó a presentar aumentos sustanciales en el área plantada.*

*La producción de soja, puede estar dividida en tres categorías:*

- A) Producción Potencial Factores de definición: CO<sub>2</sub>, radiación, temperatura y características de la cobertura vegetal;*
- B) Producción Real Factores limitantes: (a) agua; (b) nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio);*
- C) Producción Actual Factores de reducción: plagas, enfermedades, contaminación.*

*El Potasio es esencial para el crecimiento vegetal, y su función principal parece estar ligada al metabolismo. El potasio es vital para la fotosíntesis. Cuando la concentración de potasio es deficiente, la fotosíntesis disminuye. A medida que el potasio se torna deficiente, la fotosíntesis disminuye, y la velocidad de respiración de las plantas aumenta. Estas dos condiciones de deficiencia de potasio disminuyen el abastecimiento de carbohidratos para las plantas.*

*La radiación solar fotosintéticamente activa (PAR: aproximadamente 400-700 nm). Aproximadamente un 5% de la energía solar incidente es capturada a través de las plantas. Asumiendo que más fotosíntesis se precisa para aumentar el rendimiento de grano, es razonable considerar modos para alterar la interceptación de la cobertura vegetal y así mejorar la eficiencia y uso de la radiación solar entrante.*

*La cantidad de luz interceptada (IPAR), debe aumentar exponencialmente con un aumento en el número de capas de la hoja (índice de área de hoja= LAI) por área de terreno. Com LAI<4, se alcanza un máximo en la floración. En la medida que se reduce el área foliar se observa una reducción proporcional de rendimientos en granos de soja (restringe su potencial de producción).*

*Para un buen desarrollo en el cultivo de soja, hay que tener en cuenta y controlar la deficiencia hídrica, y nutricional. Los dos procesos están relacionados, y en consecuencia afectan al rendimiento de grano. Además de un análisis del suelo, para recomendación de fertilización, existe la posibilidad complementaria de diagnóstico foliar.*

*En Brasil el potasio intercambiable es el índice más utilizado para evaluar la disponibilidad del suelo. La concentración de agua en la disponibilidad de potasio, y la relación de potasio con los elementos calcio y magnesio (cuanto mayor es su presencia, menor es) las mismas concentraciones de potasio intercambiable, pueden presentarse menos disponibles. En Brasil, para solucionar el problema de deficiencia de Potasio, hay una recomendación de fertilización potásica.*

## **SOIL POTASSIUM AVAILABILITY AND SOYBEAN PRODUCTIVITY IN BRAZIL**

*The soybean production in Brazil is characterized by steady increases in the cropped area since the decade of the 70. Factors of soybean production, can be classified, into three categories:*

- A) Potential production. Factors 01 definition: CO<sub>2</sub>, radiation, temperature and characteristics Of the vegetal cover;*
- B) Real Production. Limiting factors: (a) water; (b) nutrients (nitrogen, phosphorus, and potassium);*
- C) Present Production. Reduction Factors: plagues, diseases, contamination.*

*Potassium is essential for vegetal growth, where its main functions seems to be linked to metabolism. Potassium is vital for the photosynthesis. As potassium concentration becomes deficient, the photosynthesis rate diminishes and plant respiration rate increases. These two consequences 01 potassium deficiency result in a decrease in carbohydrate supplying to plants.*

*The photosynthetically active solar radiation (PAR: approximately 400-700 nm), or approximately 5% of the incident solar energy, is captured through the plants. Assuming that more photosynthesis is needed to increase grain yields, it is reasonable to consider alternative ways to increase the interception 01 light by the vegetal cover to improve the use efficiency of the incoming solar radiation.*

*The amount 01 light intercepted (/PAR) by crops must increase exponentially as the number 01 layers of leaves increase by land area (Leaf area index = LAI), which attains its maximum value at flowering. The reduction of the LAI value would result in a proportional reduction of soybean grain yields, i.e. the yield potential is constrained.*

*A good development 01 a soybean crop requires an adequate control of hydric and nutritional deficiencies; both processes are related each other and consequently affect grain yields. In addition to soil test for fertilization recommendation, there is an additional possibility 01 diagnosis by analyzing foliar tissues.*

*Exchangeable potassium is the most utilized index value in Brazil to assess the soil availability. The potassium concentration in water and its relation with calcium and magnesium elements are indicators 01 the K plant availability, the greater is the relative*

*Ca and Mg concentration, the lower the availability is, at similar values of concentration 01 exchangeable potassium.*

## Introducción

La producción de Soja en Brasil se concentró en la región Centro-Sur hasta el inicio de los años 80. A partir de ahí, la participación de Región Centro-Oeste aumentó significativamente. La expansión del área cultivada<sup>7</sup> de soja en Brasil es resultado tanto de la incorporación de nuevas áreas, en las regiones Centro-Oeste y Norte, como de la substitución de otros cultivos, en la región Centro-Sur. De acuerdo con ZOCKUN (1975), la substitución de cultivos, principalmente arroz, feijão, mandioca» patata, cebolla, maiz y café, fue la causa del 88% de la expansión de soja entre 1970 y 1973 en la región tradicional de cultivo (São Paulo, Paraná, Santa Catarina y Rio Grande del Sur). En el mismo periodo, la expansión de nuevas fronteras resultó a penas un 12% del aumento de la producción. Esa situación preva-leció hasta mediados de la década de los 70. A partir de ahí, la región en expansión (Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso del Sur, Mato Grosso y distri'to Federal) comenzó a presentar aumentos sustanciales en el área plantada, en cuanto a la región tradicional el área plantada permaneció igual. Más recientemente la producción ha aumentado en áreas del norte y nordeste de Brasil.

TABLA 1. Superficie, producción y productividad de saja campaña 1997/98 y 1998/99.

Unid. Federación	Superficie (1000 ha)			Producción (100 t)		
	97/98	98/99	VAR	97/98	98/99	VAR
			%			%
N	44,8	46,9	4,69	94,4	100,6	6,68
NE	728,8	771,8	5,89	1561,1	1637,0	4,86
SUR	6190,3	6066,5	-2,00	14323,6	13609,8	-4,98
SUD	1131,1	1073,1	-5,13	2495,5	2695,6	8,02
C.O	5060,2	4942,2	-2,33	12889,9	13198,2	2,39
C.SUL	12381,6	12081,8	-2,42	29709,0	29503,6	-0,69
N/NE	733,7	818,7	5,82	1655,4	1737,6	4,97
TOTAL	13155,3	12900,5	-1,94	31364,4	31241,2	-039

Fuente: 97/98 - CONAS - Quinto levantamiento/jul-98 98/99 - jul/99

## Ecofisiología de soja y manejo cultural

### *Factores que influyen en la producción de soja*

Los factores que influyen en la producción de la cobertura vegetal, pueden dividirse en tres categorías o situaciones de producción:

- . **Producción Potencial.** Factores de definición: CO<sub>2</sub>, radiación, temperatura y características de la cobertura vegetal;
- . **Producción Real.** Factores limitantes: (a) agua; (b) nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio);
- . **Producción Actual.** Factores de reducción: plagas, enfermedades, contaminación.

Como el término implica, fotosíntesis, es un proceso en el que la planta convierte la energía solar en energía bioquímica, la cual es aprovechada por la planta. La energía solar es fijada en la biomasa por el proceso de fotosíntesis. En este proceso el CO<sub>2</sub> procedente del aire es transformado en glucosa (asimilación en bruto). La energía acumulada en glucosa es en parte utilizada para el soporte del funcionamiento de la planta (respiración de mantenimiento) y conversión en la parte estructural de la planta (respiración de crecimiento). La asimilación neta, es la base de la producción de cobertura vegetal, descrita como:

$$\text{ASIMILACIÓN} - \text{RESPIRACIÓN} = \text{PRODUCCIÓN}$$

El Potasio es absorbido, o retirado del suelo, por las plantas, en la forma iónica (K<sup>+</sup>), es esencial para el crecimiento vegetal, y su función principal parece estar ligada al metabolismo. El Potasio es vital para la fotosíntesis. Cuando la concentración de potasio es deficiente, la fotosíntesis disminuye. A medida que el potasio se torna deficiente, la velocidad de respiración de las plantas aumenta. Estas dos condiciones de deficiencia de potasio - reducción en la fotosíntesis y aumento en la respiración - disminuyen el abastecimiento de carbohidratos para las plantas.

### *Fotosíntesis, PAR, LAI y producción de granos (pérdidas)*

La radiación solar fotosintéticamente activa (PAR: aproximadamente 400-700 nm). Fue calculado que aproximadamente 5% de la energía solar incidente es capturada a través de las plantas. Asumiendo que más fotosíntesis se precisa para aumentar el rendimiento de grano, es razonable considerar modos para alterar la intercepción de la cobertura vegetal y así mejorar la eficiencia y uso de la radiación solar entrante, como ejemplo el espaciamiento y la densidad de siembra. La eficiencia global de la cobertura vegetal para la intercepción de luz es descrita por un coeficiente de extinción de cobertura vegetal,  $k$ , el cual relaciona la canti-

dad de luz interceptada por unidad de área de la hoja,  $IPAR = PAR \exp -k \cdot LAI$ . De acuerdo con esta relación, la cantidad de luz interceptada (IPAR), debería aumentar exponencialmente con un aumento en el número de capas de la hoja (índice de área de hoja = LAI) por area de terreno.

Con  $LAI > 4$ , se alcanza un máximo en la floración. La influencia de sombra en la fase de floración de la soja afecta directamente al número y tamaño de las simientes que están en la fase de formación de los granos. En la medida que se reduce el área foliar se tiene una proporcional reducción de rendimientos en granos de soja (Tabla 2), es decir, se restringe su potencial de producción.

TABLA 2. Reducciones (%) en el rendimiento de granos causadas por pérdidas de área laliar en soja (cv.Bragg) (adaptado de Gazzolli, 1974)

Estadio	Pérdida de hoja (%)		
	33	67	100
V4	4,5	12,6	13,4
V7-8;R1	4,9	5,9	8,3
R4	15,4	19,9	14,4
R5	18,6	47,2	79,3

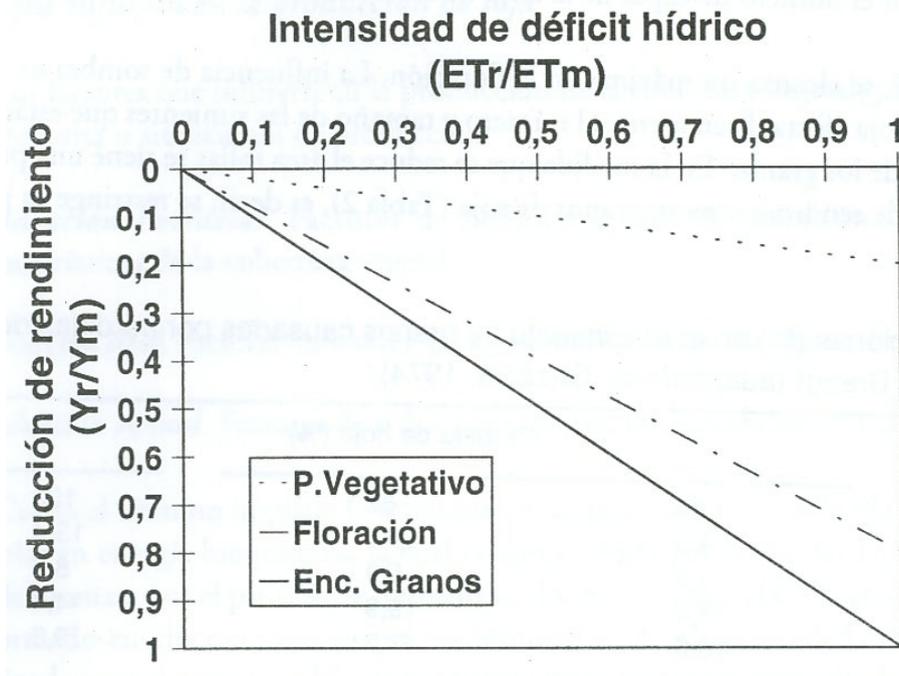
(El sistema propuesto por Fehr y Caviness (1977) divide los estadios de desarrollos de soja en estadios vegetativos y estadios reproductivos. Los estadios vegetativos son designados por la letra V y los reproductivos por la letra R).

### *Nutrición vegetal y estrés hídrico y nutricional*

Deficiencias de nutrientes en el cultivo de soja pueden surgir debido a una baja disponibilidad de los mismos en el suelo, debido a un manejo inadecuado del suelo desde un punto de vista químico y físico, o debido a condiciones climáticas adversas. Además de esos aspectos, se debe considerar que hay grandes diferencias entre cultivos en relación a una tolerancia de baja disponibilidad de determinados nutrientes en el suelo.

La medición de la deficiencia hídrica en la planta de soja puede ser hecha por la Evapotranspiración relativa (ET relativa). Ese índice relativo ( $ET_r/ET_m$ ) se obtiene para distintos subperíodos fenológicos del cultivo, dividiéndose la ET real por la ET máxima. El rendimiento relativo ( $Y_r/Y_m$ ) es obtenido dividiéndose el rendimiento real ( $Y_r$ ) por el rendimiento máximo ( $Y_m$ ). En el modelo del tipo  $Y_r/Y_m = k \cdot ET_r/ET_m$ , k representa un factor del efecto de la disponibilidad hídrica sobre el rendimiento del cultivo (es un factor de ajuste). Cuando no hay ningún déficit hídrico,  $ET_r$  es el mismo  $ET_m$ , y la intensidad del deficiencia ( $1 - (ET_r/ET_m)$ ) es igual a cero. Cuando más grande sea la diferencia entre  $ET_r$  y  $ET_m$ , el adulto tendrá déficit. En la figura 1, se ve que el estrés hídrico afecta de manera diferente el rendimiento en función de la fase fenológica sometida a seca (crecimiento vegetativo, floración y periodo de formación de granos).

Figura 1. Reducción del rendimiento de grano de soja en función de la intensidad del déficit hídrico (ETr/ETm) en varias fases fenológicas del cultivo.



El Potasio es absorbido por las plantas de la solución del suelo, en la forma iónica de  $K^+$ . La absorción depende principalmente de la difusión del elemento, a través de la solución del suelo, y en proporción menor, del flujo de masa. Esta difusión se lleva a cabo fundamentalmente por el agua y propiedades físicas del suelo, de ahí su gran importancia.

El estrés causado por deficiencia de agua determina el desenvolvimiento de plantas de pequeña estatura, raquílicas, con hojas pequeñas y entrenudos cortos. Los tejidos vegetales se presentan con aspecto mustio y los folíolos tienden a cerrarse para disminuir el área foliar expuesta.

## Relación entre deficiencia de potasio y estrés hídrico

### *Exportación de nutrientes y reposición por fertilizantes*

Para que exista un buen estado de la planta en el que se llevan a cabo todas las funciones, es necesario que haya una exportación de nutrientes en la planta (Nitrógeno: 51kg, Fósforo: 10kg de  $P_2O_5$ , Potasio: 20kg de  $K_2O$ , Calcio: 3Kg, Magnesio: 2kg, Manganeso: 30g, Zinc: 40g, Molibdeno: 5g por tonelada de granos. En el orden de 50 a 60% del K absorbido por la planta, es translocado hacia los granos. La deficiencia en estos nutrientes causa unos síntomas particulares de cada nutriente, que hay que saber reconocer, para hacer un correcto diagnóstico, y la consiguiente solución apropiada del problema.

El síntoma visual de deficiencia de Potasio (K) más común es un color amarillento (clorosis) de los bordes de las hojas inferiores. Las áreas cloróticas avanzan para el centro de los folíolos, ocurriendo entonces el inicio de la necrosis de las áreas más amarillas en los bordes. La necrosis avanza para el centro de los folíolos, ocasionando una rotura de las áreas necrosadas, dejando un mal aspecto. Las plantas deficientes en K crecen lentamente y desarrollan poco el sistema radicular. Los tallos se tornan quebradizos, y la maduración es retardada. Los granos producidos son pequeños y deformados. Además la deficiencia de K reduce la resistencia a enfermedades. Esta deficiencia de K es evidenciada, generalmente, en periodos de seca.

Una solución a estas deficiencias, es la reposición por fertilizantes. La fertilización, es una práctica donde se procura suplir los nutrientes de acuerdo con las necesidades del cultivo y la relación del mismo en el suelo. Si cada tonelada de granos de soja producido retira del suelo 20 kg de K<sub>2</sub>O por hectárea; así, para una productividad media de 2.000 kg.ha<sup>-1</sup>, deben ser aplicados, por lo menos, 40 kg.ha<sup>-1</sup> de k<sub>2</sub>O.

El cultivo de soja tiende a tener productividad perjudicada cuando la fertilidad del suelo no es favorable. Este hecho, asociado a la creciente dificultad económica en la adquisición de fertilizantes, hace necesario el uso más racional posible, y para ello existen recomendaciones de fertilización.

#### *Diagnóstico foliar: concentraciones de K en la hoja*

Además de un análisis del suelo, para recomendación de abonado, existe la posibilidad complementaria de diagnóstico de la hoja, principalmente para micronutrientes pues los niveles críticos de estos en el suelo son aun preliminares. Básicamente, este Diagnóstico consiste en analizar químicamente las hojas e interpretar los resultados tomando una tabla de datos como referencia.

## **Interpretación de resultados de análisis de K en el suelo y plantas**

En Brasil, el potasio intercambiable es el índice más usado para evaluar la disponibilidad de análisis de suelos, que delimita las clases de concentraciones en función de los valores de producción relativa basados en varios ensayos conducidos en diversos estados brasileños (Tabla 3). En nuestros suelos de mineralogía caulinítica y rica en óxidos de hierro y aluminio, el K intercambiable es la forma prevaleciente y la contribución de la fracción no intercambiables pequeña.

Tabla 3. Interpretación de disponibilidad de potasio según la concentración de potasio intercambiable en Brasil para la Soja.

Estado	Expresión	Clasificación de los tenores de K <sup>+</sup> intercambiable en el suelo				Referencia
		Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	
Minas						
Gerias	mg.dm <sup>3</sup>	-	0 a 45	46 a 89	>80	- CFSEMG
Sao Pabl01	'3mmolc.dm <sup>-3</sup>	0,000 a	0,08 a	0,16 a	>0,31	- Mascarenha
	3	0,07	0,15	0,30		S.yal,1988.
Paraná	Mg.dm <sup>-3</sup>	<40	41 a 80	81 a 120	>120	- Sfredo et al, 1999 citado por Embrapa Saja (2000).
Río Grande Do SuV Santa Catarina	mg.dm <sup>-3</sup>	21 a 40	41 a 60	61 a 80	81 a 120	> 120 Siueira y alli, 197.
Cerrad02	mg.dm <sup>-3</sup>	'	0-25	26-50	>50	- Embra Cerra os, citado por la Embrapa Saja 1999.

1 Fertilizacion basada en análisis de suelo y en productividad esperada;

2 Fertilizadon correctiva con concentración de arcilla mayor que 20% y nivel critico (50 mg.dm<sup>-3</sup>), se recomienda fertilizar con 20 Kg de K<sub>2</sub>O para cada tonelada de grano a ser producida;

3 Conversión de mg de K para mmolc debe ser dividido por el equivalente miligramos y mutiplicado por 10.

Una herramienta auxiliar para el agricultor es el diagnóstico que puede ser hecho por la interpretación de análisis de hojas de soja del tercio superior en el inicio de floración, que debe poseer un valor de concentración en la franja de 17,1 a 25,0 g K por kg de hoja (Embrapa Soja, 1985).

### *Factores que afectan a la disponibilidad de potasio en el suelo para soja*

Dos aspectos merecen destaque especial y de cierta forma están relacionados entre si. Ellos son: la concentración de agua en la disponibilidad de potasio (ya que el agua permite la difusión del K hacia la planta) y la relación de potasio con los elementos calcio y magnesio (sin duda, en presencia de concentraciones más elevadas de calcio y magnesio en el suelo, las mismas concentraciones de potasio intercambiable se pueden revelar menos disponibles para ciertos cultivos). En suelos del Estado de Paraná , Sfredo et al. (1992), citado por Embrapa Soja (2000), se encuentran las franjas óptimas de relación entre nutrientes que son:

a) en el suelo:  
Ca/Mg = 1,5 a 3,5  
Ca/K = 8 a 16  
Mg/K = 3 a 6  
(Ca+Mg)/K = 12 a 20  
(Ca/Mg)/K = 3 a 8

b) en las hojas:  
Ca/Mg = 1,5 a 3,5  
Ca/K = 0,16 a 0,32  
Mg/K = 0,10 a 0,18  
(Ca+Mg)/K = 0,3 a 0,7  
(Ca/Mg)/K = 0,6 a 1,3

## Recomendación de fertilización potásica en Brasil

Para solucionar el problema de deficiencia de Potasio, se indica aplicar fertilizante potásico, procurando mantener su concentración en el suelo por encima de 80 mg dm<sup>-3</sup>, en los estados de Rio Grande del Sur y de Santa Catarina. En otros estados ese valor puede ser diferente, en la región de Cerrados el valor sería de 50 mg dm<sup>-3</sup>. Se debe evitar saturación de bases por encima de 70%, pues concentraciones muy elevadas de Ca y de Mg pueden reducir la absorción de K por las plantas.

El cultivo de soja retira grandes cantidades de K en los granos (~20 kg de K<sub>2</sub>O por tonelada de granos), se debe hacer la reposición para la manutención de la fertilidad del suelo basado en la productividad esperada, si hablamos de 2, 3 o 4 toneladas de granos por hectareas, serian necesarios respectivamente 40, 60 y 80 Kg de K<sub>2</sub>O por hectarea en suelos independientemente de la textura. En dosis mayores a 50 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O., se utiliza la mitad del fertilizante K en cobertura, a los 30 o 40 dias despues de la germinación. En suelos arenosos, (cerrado), con menos de 20% de arcilla, no se debe hacer el abonado correctivo de potasio, pues hay mucha lixiviación.

Tambien se debe preferir aplicaciones de potasio en los cultivos de invierno, para evitar alta concentración en las líneas de plantación de soja, que crea condiciones salinas, perjudicando la emergencia de plantas. Se recomienda fertilizar las forrajeras de invierno cuando el K estuviese por debajo del nivel «suficiente».

## BIBLIOGRAFIA

- CFSEMG - Comissao de Fertilidad de do Solo deo Estado de Minas Gerais.1990. Recomendacoes para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 4a aproximayáo.
- Companhia Nacional de Abastecimento. 1996. Previsáo e Acompanhamento de Safras, v.19, no. 3, p.17-20, fev. 1995. CONAS, v. 20, n.5, p.24-28. .
- Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de soja (Londrina, PR). Resultados de pesquisa de soja 1989/90. Londrina, 1993. 481 p. (Embrapa Soja. Documentos, 58).
- Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de soja (Londrina, PR). 2000. Recomendayoes Técnicas para a cultura da soja no Paraná 2001/01. Londrina, 255p. (Embrapa Soja. Documentos, 145).

- Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de soja (Londrina, PR). 1999. Recomendações Técnicas para a cultura da soja na Região Central do Brasil 1999/2000. Londrina, 226p. (Embrapa Soja. Documentos, 132; Embrapa Agropecuária Oeste, 5).
- Gazzoni, D.L. 1974. Avaliação do efeito de três níveis de desfolhamento aplicados em quatro estádios de crescimento de dois cultivares de soja (*Glycine max* (L) Merrill) sobre a população e a qualidade do grão. Porto Alegre: UFRGS, 70p. Tese de Mestrado.
- Mascarenhas, H.A.A.; Bulisani, E.A.; Miranda, M.A.C. de; Pereira, J.C.V.N.A.; Braga, N.R. 1988. Deficiência de potássio em soja no Estado de São Paulo: melhor entendimento do problema e possíveis soluções. *O Agrônomo*, Campinas, v.10, n.1, p.33-43.
- Siqueira, O.J.F.; Sherer, E.E.; Tassinari, G.; Anghinoni, I.; Patella, J.F.; Tedesco, M.J.; Milan, P.A.; Ernani, P.R. 1987. Recomendação de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Passo Fundo, Embrapa/CNPT, 100p.
- Zockun, M.H.G.P.A. 1975. Expansão da soja no Brasil: alguns aspectos de produção. São Paulo, IPE/USP, (Tese de Mestrado).

# RESPUESTA DEL TRIGO A LA APLICACIÓN DE CLORURO DE POTASIO EN MOLISOLES CON ALTO CONTENIDO DE POTASIO

Melgar Ricardo, Hillel Magen H., Camozzi M. Elena y Javier Lavandera

\*Est. &p. INTA. Pergamino CC 31, Pergamino 2700. melgar@pergamino.inta.gov.ar

## RESUMEN

Los suelos Molisoles de la Región Pampeana son considerados uno de los más ricos en potasio del mundo, debido a que su mineralogía está formada principalmente por arcillas i/litas yesmectitas ricas en potasio. Los niveles de K intercambiable de estos suelos fluctúan entre 0.8 y 2.5 cmol<sub>c</sub> Kkg<sup>-1</sup>. Ensayos de fertilización con K y S realizados en varias localidades de la Región Pampeana norte encontraron respuestas del orden de 0,2 a 0,3 t/ha, con aumentos en la producción de granos del 5 al 10% con dosis equivalentes a la exportación de esos nutrientes por los granos (Melgar et al, 1997). Debido a que en esos experimentos, el potasio y el cloro (Cl) no se aplicaron en forma separada, no fue posible determinar si los efectos encontrados fueron debidos al K o al Cl.

Los efectos de la fertilización clorada en suelos Molisoles de EEUU han sido demostradas, mostrando respuestas positivas sobre el rendimiento del trigo. El cloro podría ser responsable de la reducción de la incidencia de enfermedades de hoja, con aumentos en el área foliar efectiva durante períodos crítico del llenado de granos. El objetivo del trabajo fue evaluar la respuesta a la fertilización clorada y potásica, discriminando y analizando la contribución del cloro o del potasio en los aumentos de rendimiento de trigo.

Durante dos años, se realizaron ensayos de fertilización en Argiudoles Típicos de la Región Pampeana; en ocho localidades con adecuado nivel de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha.

Se evaluó la respuesta al agregado de cloruro de potasio (KGI) y Sulpomag (S<sub>0</sub>₄KMg), con Mg y GI como acompañantes del K. El tratamiento con KGI recibió S como Sulfato de amonio equivalente al aportado en el Sulpomag. Se evaluaron cuatro niveles de K (0, 20, 40 y 60 kg K<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) y S (0, 20, 40 y 60 kg S/ha) en un diseño en bloques al azar con seis repeticiones aplicados en presiembra. Cada tratamiento recibió dosis de GI (9, 18 y 27 kg Cl/ha) y de Mg (10, 20 y 30 kg Mg/ha). En el segundo año, se evaluaron dos fuentes de GI, usando KGI y NHPI, en un diseño de parcelas divididas. La parcela principal incluyó un testigo y un tratamiento de aplicación de fungicidas. En las parcelas secundarias se aplicaron tres niveles de GI (0, 20 y 40 kg Cl/ha), tres de K (0, 25 y 50 kg Kpl/ha) y tres de los dos nutrientes (KGI). Se analizaron los niveles foliares de GI y K en suelo y en hoja bandera y se efectuaron evaluaciones de severidad de enfermedades foliares mediante determinaciones visuales a campo.

*En el presente trabajo se observa que aplicaciones de GI individuales o combinadas con K resultaron en incrementos significativos del rendimiento de trigo en cuatro de ocho sitios, proporción similar a trabajos previos en la región. La falta de respuesta a aplicaciones de K fueron como consecuencia de elevada disponibilidad de K en suelo y demostrada por la alta absorción de K en los tejidos.*

*Tanto el análisis de GI de suelo como de planta pueden ser utilizados para el diagnóstico de deficiencias solucionables con aplicaciones de fertilizante con CI, si bien se necesitan más datos para sostener adecuadamente esta conclusión.*

*Las respuestas positivas de GI pueden relacionarse a una disminución de la severidad de la infección de enfermedades fúngicas en hojas. Debido a que no hubo interacción con los tratamientos de fungicidas se sugieren efectos independientes.*

## **RESPONSE TO POTASSIUM CHLORIDE APPLICATION IN WHEAT ON HIGH K CONTENT MOLLISOLS**

*Mollisols of the Pampean region in Argentina are considered to have among the richest potassium content of soils in the world. Enriched K-bearing minerals such as illites and smectites are an important part of the clay fraction in these soils. This results in a very high level of exchangeable potassium, with typical levels ranging from 0.8- to 2.5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>.*

*It is widely accepted, among research in the country that the parent material is demonstrating a change in the Intensity / Quantity relationship (Q/I) with cultivation, yet, potassium application is excluded from fertilization programs. Approximately 80% of the cropped area of wheat (6 Millions ha), receiving regularly only N and P fertilizers, and more recently, sulfur.*

*Former results in the Pampean region showed responses to KCI to be in the order of a 5 to 10% increase in grain yield. Since the K and CI were not applied separately, it is not clear whether the positive effect derives from K or CI.*

*The effect of chloride application has been demonstrated in the Mollisols of North America, showing positive responses when applied to wheat. Chloride may be responsible for enhancing leaf disease resistance, which results in larger effective leaf area during critical periods of grain filling. Positive response to potassium application was largely demonstrated even in soils with high levels of soil K, thus achieving a better photosynthesis and water balance relationship, which resulted in better water use efficiency and translocation of photosynthates to filling grains.*

*Two field experiments in wheat were carried out during 1999 and 2000 at 5 and 3 locations, respectively, across Typic Argiudolls of Buenos Aires and Santa Fe provinces in the Pampean region.*

*In 1999, two sources of K were compared using KCI and K-Mg-S (Sulpomag). Four levels of K (0, 20, 40 and 60 kg K<sub>2</sub>O /ha) and S (0, 20, 40 and 60 kg S /ha) were compared. Each treatment had increasing rates of chloride (9, 18 and 27 kg GI/ha) or magnesium (2, 4 and 6 kg Mg/ha).*

*In year 2000, two sources of chloride were compared, using KCI and NH<sub>4</sub>Cl. A*

*split plot design was applied: Main plots included a) No fungicide control and b) Optimum fungicide control. Secondary plots comprised of three levels of CI (0, 20 and 40 kg CI/ha), three levels of K (0, 25 and 50 kg K<sub>2</sub>O/ha) and three levels of both nutrients combined (K and CI), with the addition of 01 control with no CI or K. All treatments received 100 kg/ha of N and 46 kg of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha.*

*Results obtained from both experiments indicate differences in wheat grain yield levels at seven of the eight sites. Although the combined analysis did not show differences among sources of K, some sites showed clear responses to the potassium source, indicating response to CI and S. Foliar analysis for chloride indicated low levels, close to critical values as published by North American studies. Some sites exhibited severe visual symptoms of leaf diseases, which negatively affected yields. Increased CI application was correlated with grain yield.*

## **Introducción**

Los suelos Molisoles de la Región Pampeana son considerados uno de los más ricos en potasio del mundo, debido a que su mineralogía está formada principalmente por arcillas illitas y esmectitas ricas en potasio. Los niveles de K intercambiable de estos suelos fluctúan entre 0.8 y 2.5 cmolcKkg<sup>-1</sup>. Ensayos de fertilización con K y S realizados en varias localidades de la Región Pampeana riorte encontraron respuestas del orden de 0,2 a 0,3 t/ha, con aumentos en la producción de granos del 5 al 10% con dosis equivalentes a la exportación de esos nutrientes por los granos (Melgar et al, 1997). Debido a que en esos experimentos, el potasio y el cloro (Cl) no se aplicaron en forma separada, no fue posible determinar si los efectos encontrados fueron debidos al K o al Cl.

Los efectos de la fertilización dorada en suelos Molisoles de EEUU han sido demostradas, mostrando respuestas positivas sobre el rendimiento del trigo (Fixen, 1993). El doro podría ser responsable de la reducción de la incidencia de enfermedades de hoja, con aumentos en el área foliar efectiva durante períodos crítico del llenado de granos. El objetivo del trabajo fue evaluar la respuesta a la fertilización dorada y potásica, discriminando y analizando la contribución del doro o del potasio en los aumentos de rendimientos de trigo.

## **Materiales y métodos**

Durante 1999 Y 2000, se realizaron ensayos de fertilización en Argiudoles Típicos de la Región Pampeana, en ocho localidades con adecuado nivel de N y P<sub>2</sub>O/ha.

En 1999, se evaluó la respuesta al agregado de doruro de potasio (KCl) y Sulpomag (S04KMg), con Mg y Cl como acompañantes del K. El tratamiento con KCl recibió S como

Sulfato de amonio equivalente al aportado en el Sulpomag. Se evaluaron cuatro niveles de K (0, 20, 40 y 60 kg K<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) y S (0, 20, 40 y 60 kg S/ha) en un diseño en bloques al azar con seis repeticiones aplicados en presiembrado. Cada tratamiento recibió dosis de Cl (9, 18 y 27 kg Cl/ha) y de Mg (10, 20 y 30 kg Mg/ha).

Tabla 1. Características de fertilidad de la capa arable en cada localidad (0-20 cm).

Localidad	CIC	pH	MO	P	S	Cl'	K	Mg	Ca
	Meq/100 gr'		(%)	.....ppm.....					
1999									
Arequito	15.1	5.8	2.9	18	24	6.9	1.4	1.1	15.8
Urdampilleta	8.6	6.0	0.7	35	15	6.7	1.3	0.6	8.8
Pergamino	11.7	5.8	2.7	n	13	N/O	0.8	0.7	11.1
Bolívar	17.1	6.4	4.1	21	21	5.9	4.1	2.6	17.6
Alberti	13.2	5.9	2.9	12	16	7.9	1.5	1.1	16.8
2000									
Alberti	12.8	6.0	3.7	11	3.4	5.0	2.1	2.0	9.1
Arequito	17.2	6.0	4.1	27	10.7	8.1	1.5	1.3	5.0
Arrecifes	17.2	5.4	4.0	32	16.0	6.2	0.8	1.6	9.9

(\*) Análisis realizados por Dr. M. Elam, de la división de I&O de DSW  
N/D - no disponible.

En el 2000, se evaluaron dos fuentes de Cl, usando KCl y NH<sub>4</sub>Cl, en un diseño de parcelas divididas. La parcela principal incluyó un testigo y un tratamiento de aplicación de fungicidas. En las parcelas secundarias se aplicaron tres niveles de Cl (0, 20 y 40 kg Cl/ha), tres de K (0, 25 y 50 kg Cl/ha) y tres de los dos nutrientes (KCl). Se analizaron los niveles foliares de Cl y K en suelo y en hoja bandera y se efectuaron evaluaciones de severidad de enfermedades foliares mediante determinaciones visuales a campo.

Tabla 2. Lista de tratamientos como aplicaciones de nutrientes en kg/ha durante 1999 y 2000.

Tratamientos	Fertilizantes	N	PPs	O	S	CI	MgO
1999		Kg/ha					
T1 (control)		100	23	0	0	0	0
T2	KMgS	100	23	20	20	0	10
T3	KMgS	100	23	40	40	0	20
T4	KMgS	100	23	60	60	0	30
T5	KCI+AS	100	23	20	20	9	0
T6	KCI+AS	100	23	40	40	18	0
T7	KCI+AS	100	23	60	60	27	0
2000							
T1 (control)		150	80	0	18	0	0
T2	ACI	150	80	0	18	20	0
T3	ACI	150	80	0	18	40	0
T4	SOP	150	80	25	18	0	0
T5	SOP	150	80	50	18	0	0
T6	SOP+ACI	150	80	25	18	20	0
T7	SOP+ACI	150	80	50	18	40	0

Al comienzo del estadio reproductivo (Feekes 10.1) muestras representativas de hojas bandera fueron recolectadas de las parcelas testigos y de tratamientos elegidos para evaluar la concentración de nutrientes incluyéndose K y Cl.

Observaciones de campo, realizadas al final del estadio reproductivo, (grano lechoso, estadio Feekes 11.1) verificaron observaciones visuales de diferencias en tolerancia al ataque de enfermedades de hoja como roya anaranjada (*Puccinia recondita*) y mancha amarilla (*Pyrenophora tritici-repentis*).

A la madurez fisiológica, 2m<sup>2</sup> centrales de cada parcela fue cortada y trillada para evaluar rendimiento de grano (t/ha, a 14% humedad) y producción de biomasa total (aérea, TDM).

El análisis estadístico se realizó en cada prueba individual de acuerdo al siguiente modelo lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + \delta_k + \alpha_i(\delta_k) + \beta_j + \beta_j \delta_k + \epsilon_{ijk}$$

Donde  $\mu$  es el promedio general;  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\delta$  son los estimadores del efecto de bloque, tratamiento y año-localidad, respectivamente, y  $\epsilon$  es el error experimental (Nelson, 1999).

## Resultados y discusión

Ensayos de 1999. El diseño no discrimina si las respuestas, indicadas por las diferencias entre el control y el resto de los tratamientos, son debidos al azufre, potasio o al cloruro. El estudio mostró que la fertilización con Mg o Cl dio respuestas erráticas indicadas por una significativa interacción entre sitios y fuentes (F Sitio x fuente: 5.16; Pr>F: 0.0007).

En dos sitios (Arequito y Urdampilleta), se encontraron respuestas positivas al Cl, mientras que respuestas a la aplicación de Mg se encontraron en otros sitios diferentes (Bolívar y Alberti, tabla 3). Solo en un sitio (Pergamino), no se encontró respuesta ni al cloruro ni al magnesio. Aunque el análisis combinado a través de los sitios mostró una leve diferencia a favor del cloruro (T5- T7), las diferencias no fueron significativas (F fuente: 3.17 Pr >Fj 0.08).

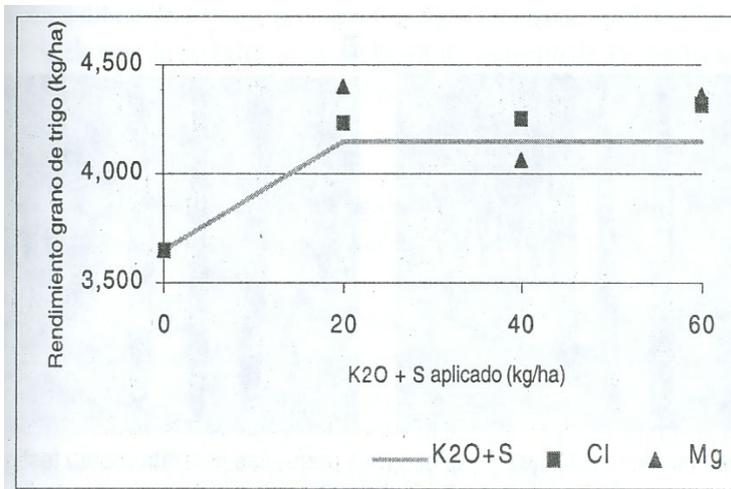
Tabla 3. Efecto de dosis crecientes de potasio, azufre y magnesio, aplicado como KMgSi o KCl+AS (T1-T7), en el rendimiento de grano de trigo en cinco localidades en 1999.

Tratamiento	Aplicación Dosis Cl kglha	Localidad				
		Arequito	Urdampilleta	Pergamino t/ha	Bolívar	Alberti
T1	0	3.29	3.87	3.51	3.37	4.19
T2	0	3.52	4.37	3.74	4.17	4.64
T3	0	3.37	4.43	3.94	3.82	4.31
T4	0	3.67	4.79	4.01	4.07	4.66
T5	9	3.78	4.96	3.95	3.82	4.46
T6	18	3.71	5.17	3.88	4.43	4.1
T7	27	3.71	5.32	3.92	3.4	4.49
KMgS(prom.)	T1-T4)	3.52	4.53	3.90	4.02	4.54
KCl+AS	(prom. T5-T7)	3.73	5.18	3.92	3.88	4.35
DLS 5%		0.27	0.64	0.29	0.51	0.64
F (tratamiento)		5.08**	4.54**	5.80**	4.13**	0.58 ns
F (fuente)		5.98*	14.2**	0.06 ns	0.59 ns	0.73 ns
F (Dosis S&K)		1.17 ns	1.96 ns	0.67 ns	1.70 ns	0.11 ns
C.V. %		6.5	11.9	6.6	11.2	12.4

\*, \*\* Indica significancia al nivel de probabilidad de 0.05 o 0.01, respectivamente. Ns: No significativo al nivel de 0.05 de probabilidad

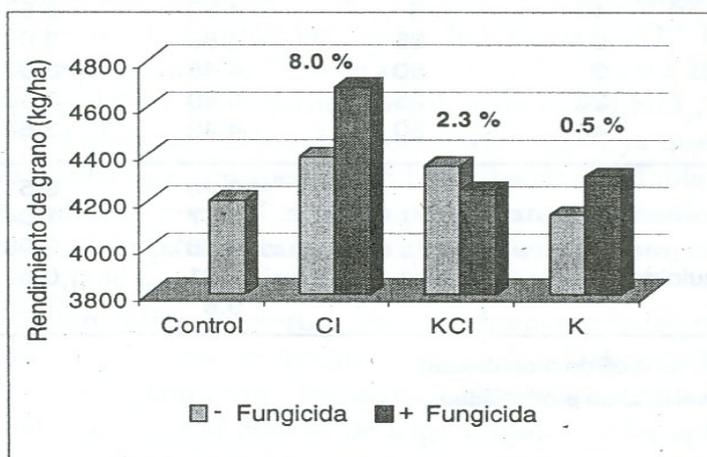
El análisis combinado a través de todas las localidades mostró diferencias significativas entre el control y los tratamientos que recibieron azufre mas potasio, independientemente de la fuente, pero no hubo diferencias entre las dosis de azufre o de potasio (F dosis: 0.32; Pr >F: 0.72 ns). La aplicación de 20 kg/ha de  $K_2O + S$  resultó en aumentos de rendimiento de grano de 509 kg/ha (14 %) (Fig. 1). No se observaron aumentos de rendimiento de TDM con niveles mas allá de esta dosis, y no se encontró interacción entre dosis y fuentes (F dosis x fuente = 1.48 Pr >F: 0.17 ns). Considerando los sitios donde una u otra fuente superó en performance a la otra, el promedio de rindes fue 120 kg/ha mas alto que el promedio general de fuentes y dosis (Fig 1).

Fig. 1. Efecto promedio de dosis crecientes de  $K_2O + S$  en el rinde promedio de grano (línea). Cada punto es el promedio de tratamientos de localidades donde se aplicaron ya sea KCl+AS (Dosis de aplicación de cloruro en cuadrados) o KMgS (dosis de aplicación de magnesio en triángulos) como fuente de potasio y azufre.



Ensayos 2000. La tabla 4 muestra los rendimientos de grano en las diferentes localidades, promediando los tratamientos fungicidas. Los tratamientos fungicidas resultaron en aumentos significativos de rendimiento de grano de 156 kg/ha en todas las localidades, ( $F_{\text{Sitio} \times \text{fungicida}} = 0.3$ ,  $Pr > F 0.74$  ns, pero el efecto fue mayor con la dosis de Cl de 20 kg/ha (T2 & T6), con un aumento de 393 kg/ha. El efecto del fungicida fue independiente de los nutrientes aplicados, pero el mismo efecto pareció mayor con las aplicaciones de Cl y de K pero no para el tratamiento KCl (Fig. 2). A diferencia de los resultados encontrados por Miller et al (1998), estos sugieren que ambos efectos, el del Cl y del fungicida podría ser aditivos para la obtención de hojas más sanas y por lo tanto mayores rindes.

Fig. 2. Efecto del cloruro, cloruro de potasio, potasio y aplicaciones de fungicidas en el rinde de grano de trigo (Promedio de tres localidades y dos dosis de aplicación).



Observaciones visuales del experimento a campo en Arrecifes, al es radio de grano pastoso (11.1 de la escala Feeke's), demostraron el nivel reducido de daños por enfermedades fungosas de las hoja bandera y tamaño de las espigas con las aplicaciones del tratamiento 7 (50K<sub>2</sub>O+ 40Cl, foto 1).

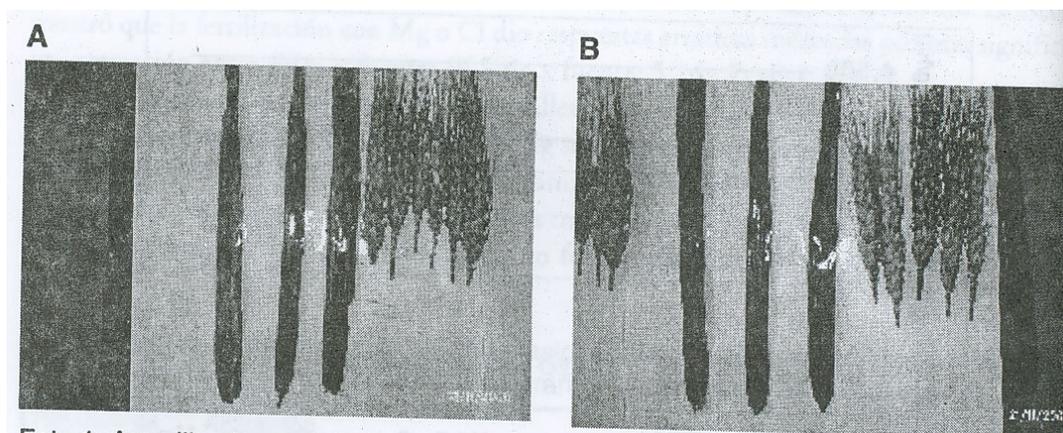


Foto 1: Amarillamiento de hojas y espigas mas pequeñas del tratamiento testigo (T1, A) comparado con los del tratamiento 7 (B, 50 K<sub>2</sub>O + 40 Cl) durante el estadio de grano pastoso (Escala 11.1 de Feekes). Fotografías tomadas en el sitio Arrecifes, 2000.

Tabla 4. Efecto de dosis crecientes de potasio y cloro aplicado separadamente y comol KCl en el rinde de grano de trigo, en tres localidades, durante la campaña 2000.

Tratamiento	Dosis de Aplicación		Localidad		
	Cl	KP	Alberti	Arequito	Arrecifes
	Kg/ha		Vha		
T1 (control)	0	0	4.84	3.36	4.99
T2	20	0	4.92	3.93	5.40
T3	40	0	4.23	3.56	5.21
T4	0	25	4.86	3.09	4.93
T5	0	50	4.46	3.07	4.96
T6	20	25	4.50	3.53	4.73
T7	40	50	4.42	3.62	5.01
DLSS%			0.46	0.51	0.61
F (funguicida)			0.57	1.04	1.63
F (fertilizante)			2.78*	2.98*	1.04ns
F (fertilizante X funguicida)			1.31	0.61	0.34
C.V. %			9.8	14.6	11.9

\* Indica significancia al nivel 0.05 de probabilidad.  
Ns: No significativo al nivel 0.05 de probabilidad.

La respuesta de los tratamientos fertilizantes variaron a través de las localidades ( $F_{\text{Site} \times \text{Fert}} = 1.66$  Pr < F 0.08). Hubo un aumento significativo de rendimiento de grano y biomasa (datos no presentados) con una dosis de 20 kg/ha Cl, pero no se observaron aumentos cuando se duplico esta dosis, ni cuando esta dosis fue aplicada junto con K (T6 & T7). Ningún otro tratamiento difirió del control, aún cuando se aplicó el mismo nivel de Cl como KCl. El tratamiento de cloruro de 20 kg/ha (T2) resultó en un aumento de 356 kg/ha sobre el con-trol, o 472 kg/ha cuando se comparó con el promedio de tratamientos, y promediando el factor tratamiento con funguicida.

Existe una larga discusión sobre si los aumentos de rendimientos obtenidos con el agregado de K por KCl Ó «Sulpomag» en trigo en los Molisoles pampeanos son el resultado del potasio o de nutrientes acompañantes tales como el S, el Mg o el Cl. Anteriormente, las aplicaciones de KCl o de «Sulpomag» resultaron en aumentos significativos de rendimiento Melgar et al. (1997, 1998), describe una series de ensayos conducidos entre 1995 y 1997 con fertilización con KCl. Resultados positivos obtenidos con ‘Sulpomag’ en trigo y otros cultivos (Grosso y Perez, 1999) fueron explicados por una gran respuesta al azufre. Esta claramente establecido que a diferencia de otras pruebas llevadas a cabo anteriormente, que el principal factor que aumenta los rendimientos es el cloruro, y no el potasio.

Promediando todas las dosis y localidades en las pruebas conducidas en 2000, el cloruro solo representó un aumento de rendimientos del 8%, el cloruro con potasio un aumento del 2.3 %, Y el potasio solo dio apenas un aumento del 0.5 % sobre el testigo. Los índices de disponibilidad de suelo y concentración de nutrientes en los tejidos foliares comparados con estándares internacionales de rangos de suficiencia sustentan estos datos (Jones, 1991): los niveles de K en suelos son altos y suficientes para las necesidades de las plantas.

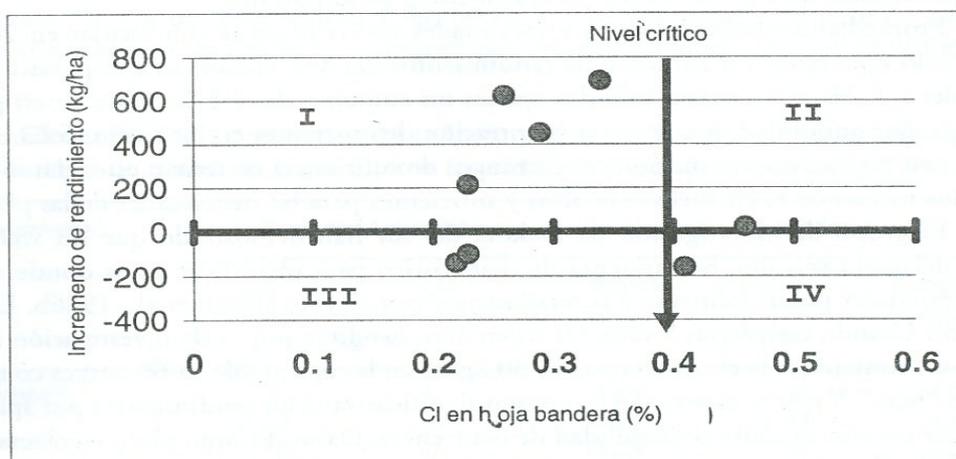
El grupo de investigación de Dakota del sur han demostrado que los análisis de cloruro del suelo son una herramienta de diagnóstico para identificar sitios donde el trigo, podría responder potencialmente a la fertilización con cloruro (Fixen et al., 1986b, Engel et al., 1998). Usando estrategias levemente diferentes, los dos equipos de investigación indicaron que un contenido de cloruro entre 0 a 30 kg/ha en la capa arable (0-60 cm) es considerado como «bajo». Y que se esperarían respuestas significativas a los rendimientos por aplicaciones de cloruro con una alta probabilidad de ocurrencia. Datos de largo plazo recolectados en los Molisoles Pampeanos mostraron que los valores de nitratos (N03= ) en la capa 0 a 60 cm son aproximadamente equivalentes al 70% de aquellos en la capa 0 a 20 cm (Álvarez, 2000).

Asumiendo que el tiene la misma distribución que el N03, podemos esperar que el contenido de Cl esté bien por debajo de la categoría «bajo», ya que valores corrientes en diferente localidades oscilaron entre apenas 6 y 11 kg/ha de Cl (Tabla 1). Por otra parte la disponibilidad de K indicado por el K extraído por acetato de amonio neutro esta bien por encima de cualquier están dar para las categorías altas o bien provisto, con datos que variaron entre 300 a 1300 ppm de K intercambiable y soluble.

La concentración foliar de cloruro mostró algunas relaciones con la respuesta de rendimiento de grano. Los grupos de investigación de Sur Dakota y Montana propusieron un nivel crítico basado en la planta completa de trigo de 0.4% de Cl. Por debajo de este nivel, existe una alta probabilidad que el cultivo de trigo responda a las aplicaciones de cloruro.

Aunque nuestros datos analizaron cloruro en la hoja bandera, que contienen usualmente, niveles más altos de Cl en comparación con los encontrados en la planta completa (Jones, 1991), una interpretación preliminar de estos datos puede ser útil para esta discusión. La Figura 3 describe el número de parcelas / sitios donde se esperaba un aumento de rendimientos pronosticado por el nivel de Cl en hoja bandera de las parcelas testigos. De los ocho sitios de nuestros experimentos en las campañas 1999 y 2000, seis estuvieron dentro de las respuestas esperadas predichas por las concentraciones de Cl en planta. Cuatro fueron positivas a valores deficientes (Cuadrante I), dos fueron suficientes y no mostraron respuestas (Cuadrante IV) y dos dieron falsos positivos o sin respuesta habiendo sido predicho un valor deficiente (cuadrante III). Sin embargo, no todos los tratamientos fertilizados con Cl mostraron un aumento en los niveles de Cl en los tejidos.

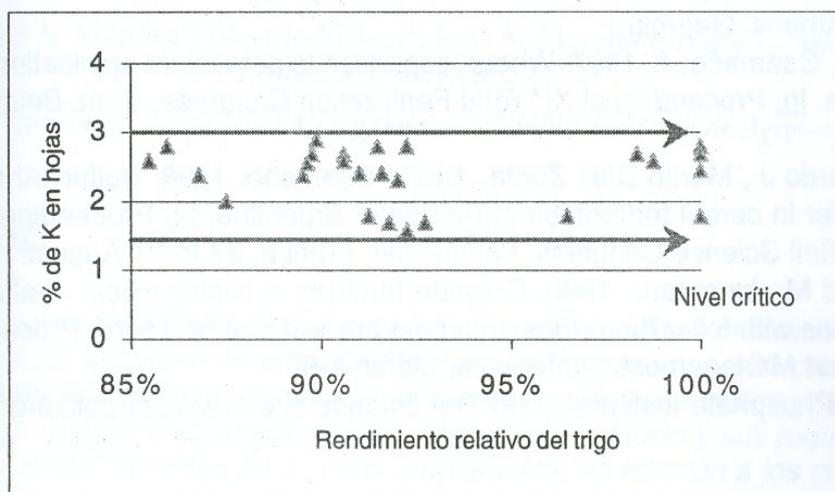
Figura 3. Número de parcelas / sitios donde se esperaba un aumento de rendimientos pronosticado por el nivel de Cl en hoja bandera de las parcelas testigos



De acuerdo con Jones (1991), el rango del nivel de suficiencia de K en la hoja bandera a ese estadio fenológico (estadio Feekes 10.1) está entre 1.5 y 3.0%. Todos los tratamientos, incluyendo el control, los valores de K en la hoja bandera estuvieron por arriba de ese nivel crítico (Fig. 4), indicando un suministro suficiente de K a las plantas.

Niveles suficientes de magnesio están en un rango entre 0.15 a 0.50% (Jones, 1991) también en hoja bandera. Se encontraron todos los tratamientos, incluyendo el control, con niveles entre 0.12 a 0.21 %, y un promedio general de 0.16% (Desv. Estd. = 0.02) de todos los sitios, sin una relación aparente con los rendimientos o tratamientos. Estos datos indican claramente que no habría aparentemente un antagonismo entre la absorción de potasio y magnesio con estas condiciones.

Figura 4. Relación entre los rendimientos relativos observados y la concentración de K en la hoja bandera al estadio de floración (Feekes 10.1) en tratamientos elegidos de las campañas 1999 y 2000.



## Conclusiones

Aplicaciones de Cl individuales o combinadas con K resultaron en incrementos sig-nificativos del rendimiento de trigo en cuatro de ocho sitios, proporción similar a trabajos previos en la región. La falta de respuesta a aplicaciones de K fueron como consecuencia de elevada disponibilidad de K en suelo y demostrada por la alta absorción de K en los tejidos.

Tanto el análisis de Cl de suelo como de planta pueden ser utilizados para el diagnóstico de deficiencias solucionables con aplicaciones de fertilizante con Cl, si bien se necesitan mas datos para sostener adecuadamente esta conclusión.

Las respuestas positivas de Cl pueden relacionarse a una disminución de la severidad de la infección de enfermedades fúngicas en hojas. Debido a que no hubo interacción con los tratamientos de fungicidas se sugieren efectos independientes.

## BIBLIOGRAFIA

- Álvarez, C., Álvarez, R. and H. Steinbach. 2000. Hasta 60 cm. Fertilizar NQ 19. June. Page 33.
- Engel, R.E., P.L. Bruckner, and J. Eckhoff. 1998. Critical tissue concentration and chloride requirements for wheat. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:401-405.
- Fixen, P. E. (1993). Crop responses to chloride. *Adv. Agron.* 50, 107-150.
- Fixen, P.E., G.W. Buchenau, R.H. Gelderman, T.E. Schumacher, and FA Cholick. 1986b

- Influence of soil and applied chloride on several wheat parameters. *Agron. J.* 78:736-740.
- Grosso G, and L. Perez. 1999. Trigo. Fertilización de precisión. *Fertilizar NQ* 14:18-211
- Jones, J. B.; B. Wolf, y H. A. Milis. 1991. *Plant Analysis Handbook*. Micro-Macro Publishing Inc. Athens, Georgia.
- Melgar, R.J., Caamaño, A. 1997. Wheat responses to potassium application in Pampean Argentina. In: *Proceeding of XI World Fertilization Congress*. Gent. Belgium. Sep. 7 - 11, 1997.
- Melgar, Ricardo J., Martín Díaz Zorita, Adolfo Caamaño. 1998. Sulfur- Another nutrient to consider in cereal fertilization in Pampean Argentina. In: *Proceeding of XVI International Soil Science Congress*. Montpellier, France. 27 to 31 August 1998.
- Miller, T. and M. Jungman. 1998. Chloride fertilizer in winter wheat -effect of Cl and interactions with foliar fungicides under severe leaf rust pressure. *Proceedings Intensive Wheat Management Conference*, March 4-5.
- Potash and Phosphate Institute. 2000 The chloride site. [www.ppi-ppic.org/chloride](http://www.ppi-ppic.org/chloride).

# RESPUESTA DEL ARROZ AL POTASIO EN LA PROVINCIA CORRIENTES

Miguel A. Méndez<sup>1</sup>; Ricardo Melgar<sup>2</sup>; Luis A. Morales<sup>3</sup>; María C. Sanabrial

*mmendez@correo.inta.gov.ar*

<sup>1</sup> EEA INTA Corrientes - <sup>2</sup> EEA INTA Pergamino - <sup>3</sup> UNNE Facultad de Agronomía Corrientes

## RESUMEN

*El arroz es para Corrientes uno de los principales cultivos realizados a nivel empresarial y ocupa actualmente unas 68.000 hectáreas, con unos 120 productores. La superficie sembrada se halla dispersa en diferentes regiones naturales y tipos de suelo de la provincia. Este cultivo se realiza bajo riego por inundación y sus requisitos de uso de la tierra son contrastantes en algunas propiedades, en relación a los cultivos comunes de secano.*

*A nivel provincial el 20% de la superficie esta ocupada por tierras con aptitud arracera (cerca de 2.000.000 ha.). Las tierras muy aptas y aptas ocupan unas 385.000 ha y en general no compiten con cultivos comunes de escarda, salvo casos aislados en Arjiudoles ácuicos y Arjiudoles vérticos. Las posibilidades de ampliar la superficie sembrada, son grandes ya que el uso actual es de unas 68.000 ha y dependen básicamente de las expectativas de rentabilidad, debido a los altos costos iniciales y la infraestructura caminera y de servicios de la provincia que ayuden al desarrollo de la actividad arrocera.*

*Las diferencias en tipos de suelos de las regiones arroceras de Corrientes, impiden hacer recomendaciones generales para fertilización potásica. La región nordeste, posee suelos con menores contenidos de K asimilable en contraposición con los suelos mejor saturados y mejor provisto de la región Norte o Centro-Sur, indicando probabilidad de respuesta diferencial al agregado de Potasio (K). Tampoco la interpretación de los niveles de K en los análisis de suelo para arroz, toma en cuenta parámetros relacionados, como textura y saturación de bases. Además, es discutible y no muy bien medido el aporte de K por el agua de riego, los aportes de los residuos de cosecha ó las aplicaciones residuales de fertilizantes. Los objetivos del trabajo fueron: a) determinar los efectos de la fertilización potásica sobre el rendimiento de arroz cáscara, asociado al nivel de K en el suelo en diversas regiones de la provincia; b) evaluar formulaciones con dosis crecientes de NPK en distintos sitios y c) determinar la cantidad de K absorbida por distintas variedades y líneas promisorias de arroz.*

*Se llevaron a cabo tres ensayos en sitios de diferentes características edáficas en a) Argiacuol, b) Haplacuepte y c) Epiacultes.*

*Si bien se sabe de respuestas en el rendimiento por dosis crecientes de fertilizantes, era necesario conocer cuanto K absorbe la planta durante su desarrollo y cuanto se exporta en la cosecha para ajustar las dosis de reposición. Para tal fin se llevo a cabo un experimento con distintas variedades de arroz donde se determino la cantidad de K absorbido en tres momentos fisiológicos del cultivo: macollaje, diferenciación de primordio y cosecha.*

*Como resultado de los trabajos experimentales realizados en diversos sitios con aptitud arrocera se obtuvieron respuestas positivas de rendimiento a la aplicación de K, siendo mas pronunciadas en zonas donde los niveles del suelo estaban por debajo de*

los valores críticos. Se tomó como valor crítico concentraciones de 45 - 50 mg/kg de K intercambiable en la capa arable. A medida que aumentan la dosis de NPK aumenta el rendimiento. La cantidad de K absorbido por las plantas difiere según las variedades y el estado fenológico.

## **RESPONSE OF RICE CROPS TO POTASSIUM APPLICATIONS IN CORRIENTES PROVINCE**

*Rice is one of the main cash crops at Corrientes province, comprising 68,000 ha in the last 2001 season, with near 120 farmers. Planted areas is scattered across different natural regions and soil types of the province. All rice is irrigated by flooding. Due to the irrigation management system, the land and soil requirements for rice contrast to the soil characteristic quality needed for nonirrigated rainfed crops.*

*Land area apt for growing rice comprise near 20 % of the total provincial exten.) sion (near 2,000,000 ha). The land classes ve;y apt and apt occupy 385,000 has and in general they do not compete with other rainfed crops, except for some cases in acquit and vertic Arguidols. There are real possibilities of extending the planted area since the actual use of 68,000 has represent a fraction of the total. Enlarging the area basically depend on the profit expectations in the medium term, due to the high initial costs and development of public infrastructure and services, that would contribute to the development of the activity.*

*The differences in soil types of the rice regions of Corrientes prevent to make general recommendations for potassium fertilization. The soils of the northeastern region, contains low levels of available K that contrast sharply with well K supplied soils of the Northern or Center-Southern regions, indicating differential probability of response to Potassium applications. The interpretation of the availability levels by chemical soil test for rice, does not take into account related parameters, like soil texture and base saturation. In addition is still questionable and poorly measured the contribution of K by irrigation water, by crop residues or by residual fertilizer applications.*

*The objectives of this work were: a) to determine the effects of the potassium fertilization on rice yields, associating responses to the soil K levels in diverse regions of the province; b) evaluate NPK formulation and increasing rates at different sites and c) K uptake on absorption by different varieties and promissory lines of rice.*

*To determine the effects of the K fertilization on rice yields, three field tests were carried out in sites of different edaphic characteristics: a) Argiacuol, b) Haplacupt and c) Epiacult.*

*Although responses in yield because use of fertilizer were known, it was necessary to determine the K uptake by plants during its development and the amount exported by grain at harvest to set up the replacement rates. We carried out an experiment with different varieties to determine the amount of K uptake at three physiological periods: tillering, panicle differentiation and harvest.*

*It was observed response to K application in some soils of the northeastern region, where K levels in soils are below critical levels, around 45-50 mg/kg of soil. These values as limit to split soil classes of no response were confirmed in other experiences. Although the higher yields were obtained with high rates, there were no differences between 25 and 50 kg/ha. Average K response was 8 kg of rice per K of applied K<sub>20</sub>. Response increases with growing NPK rates. Potassium uptake differs among varieties and physiological stage.*

## Introducción

El territorio de la Provincia de Corrientes abarca una superficie de 89.355 km<sup>2</sup> Y se halla comprendida entre las latitudes 27° 15'S y 30° 43'S, entre las longitudes 53° 37' W y 59° 42' W Sobre una gran llanura donde se han delineado dos Grandes Regiones Naturales, con ocho Regiones y 29 Subregiones.

Bajo condiciones de alta producción. Por encima de 7 t/ha, un aumento de 5 a 7 % puede ser económicamente muy importante; y aunque difícilmente detectable por la experimentación convencional, compensaría el costo del agregado de K en la formulación de los fertilizantes de base, con N y P. Otros efectos benéficos mencionados frecuentemente por aplicaciones de K se refieren a un aumento de la resistencia al vuelco, menor porcentaje de granos «panza blanca», de enfermedades y toxicidad de hierro.

Los trabajos que aquí se presentan tuvieron como objetivos, 1) Determinar los efectos de la fertilización potásica sobre el rendimiento de arroz cáscara asociadas a la respuesta en cada sitio con los niveles de K en suelo, para algunas regiones arroceras de Corrientes; 2) Evaluación de formulaciones con dosis crecientes de NPK en distintos ambientes de la provincia y 3) Absorción de K por variedades y líneas promisorias de arroz.

## Materiales y métodos

Se llevaron a cabo tres ensayos en sitios con distintas características edáficas: Norte, INTA Corrientes sobre un suelo de la Serie Treviño (Argiacuol ácuico); Nordeste, Mora Cué sobre un suelo de la Serie Caa Carái (Haplacuepte) y Malezales, Marquez Serie Lemos (Epiacultes) de la provincia, donde se esperaba que aparezcan respuestas a la fertilización con K.

Para observar el comportamiento de formulados en base NPK se realizaron ensayos en distintos ambientes en los que se variaron las dosis en forma creciente en los tres elementos en cuestión T1, (Testigo sin fertilización); T2, (30-30-25); T3, (60-30-50); T4, (90-60-75); T5, (120-60-100) y T6, fertilización del productor.

## Resultados y discusión

En la Figura 1 se muestran los resultados obtenidos de cada ensayo; se evidenció respuesta a la aplicación de K en dos de los sitios (Mora Cué, Nordeste y Marquez, Malezales). En promedio el mejor rendimiento estuvo asociado a la dosis más alta, que resultó en un incremento de 410 Kg/Ha, similar a los 360 Kg/Ha obtenido en ensayos anteriores. La eficiencia del fertilizante potásico fue estimada en 8 kg de arroz por kg de K aplicado. Mediante la asociación entre los rendimientos y los niveles de K encontrados en el suelo se pudo establecer como nivel crítico de K entre 45 y 50 mg/kg de K asimilable.

Se comprobó que la fertilización con K favorecía el rendimiento de arroz cáscara, suelos que no alcanzaban el nivel crítico de K establecido entre 45 ó 50 mg/kg de K asimilable, el que permite indicar una formulación de base en la fertilización con NPK.

Figura 1. Efecto de diferentes niveles de K sobre los rendimientos de arroz cáscara~ tres sitios.

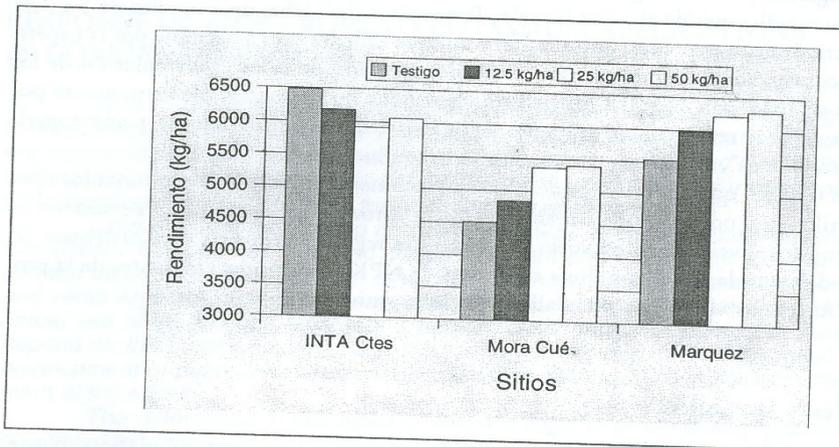
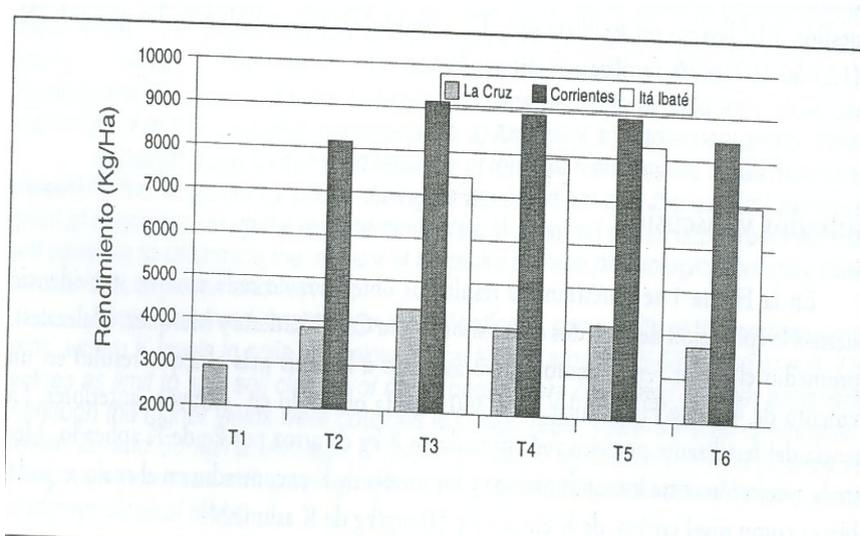


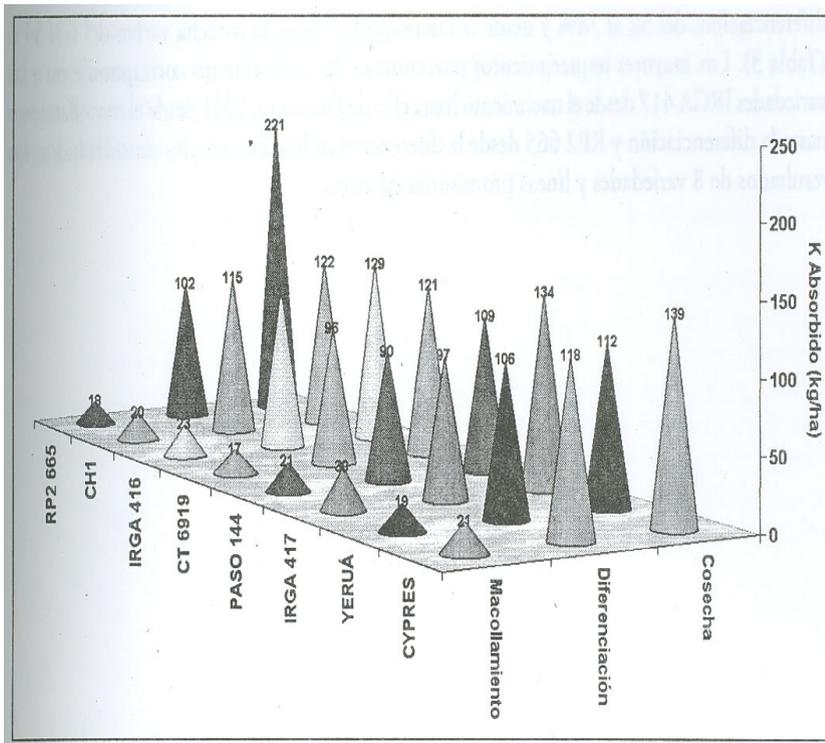
Figura 2. Respuesta del arroz a la fertilización con dosis crecientes de NPK en chacra de productores



Se observa en la Figura 2 el importante aumento en el rendimiento del cultivo a medida que fueron aumentándose las dosis de NPK. El Tratamiento 5 (T5) presentó un incremento de 1,1 t/ha con relación al T1 (testigo sin fertilización) y un aumento de 0,75 t sobre la fertilización practicada por el productor T6 que consistió en 170 kg/ha de 5-30-15 (NPK) para el ensayo de La Cruz sobre un suelo de la serie Nueve Lagunas (Epiaculfes aérico-umbrico). Para el ensayo de la zona norte Itá Ibaté sobre un suelo de la Serie Chequin (Albaculf típico) con mayor potencial de rendimiento pero con valores de K que no alcanzan el valor crítico, las respuestas obtenidas también fueron contundentes observándose diferencias en los tratamientos siendo el de mayor rendimiento también el T5 la dosis mayor de NPK (120-60-100), con 1,4 t superior a la fertilización practicada por el productor, en éste caso 200 kg/ha de 12-35-20. Y para el tercer sitio ubicado en corrientes sobre un suelo de la serie Treviño (Agiacul ácuico) donde el K asimilable supera el nivel crítico no se hallaron diferencias entre los tratamientos planteados.

En los puntos anteriores se mostró la importancia del K en la fertilización del cultivo de arroz. Se pudo observar que con la adición de K en la fertilización se consiguieron aumentos en los rendimientos pero no se conoce cuanto K necesita la planta para SIJ. desarrollo y cuanto se exporta para su reposición. Para ello se realizó la determinación de la absorción del elemento en distintas variedades de arroz y en tres momentos del cultivo. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 3.

Figura 3. K Absorbido en diferentes estados de desarrollo por distintas variedades de arroz



El K absorbido en tres momentos fisiológico del cultivo fueron en menor y mayor grado de 17 a 30 kg/ha en CT 6919- INTA e IRGA 417 en la etapa de macollamiento, de 90 a 127 kg/ha en El Paso 144 y CH 1 en diferenciación de primordio floral, y de 93 a 220 kg/ha en CH 1 y RP2 665 en la etapa de cosecha.

## **Conclusiones**

Se evidenció respuesta a la aplicación de K en los sitios pertenecientes a la región arrocerera del Nordeste y malezales del Aguapey-Mirinay donde la concentración de K están por debajo de los niveles de valor crítico. Si bien los mejores rendimientos medios se asocian a la dosis mas alta, no existen diferencias apreciables entre 25 y 50 Kg/Ha de K aplicado, con un incremento medio de rendimiento de 320 a 410 Kg/Ha, respectivamente.

La eficiencia del K fué de 8 kg de arroz cáscara por kg de K aplicado.

Los rendimientos obtenidos se relacionan a los niveles de K en el suelo. Se toma como valor crítico la concentración de 45 - 50 mg/kg de K en la capa arable, para ser utilizado en recomendaciones de fertilización.

La fertilización de base con NPK en dosis altas (90-60-75 y 120-60-100) benefician los rendimientos de arroz cáscara en los distintos agroecosistemas de producción de arroz donde el contenido de K en suelo es menor de 50 mg/kg de K disponible.

La absorción de K por la planta de arroz es de orden variado según variedad. Tomando como referencia una producción de 1000 kg., los porcentajes de K absorbidos desde el nacimiento hasta el macollamiento varían del 8 al 22%, desde el macollamiento hasta la diferenciación, del 38 al 78% y desde la diferenciación hasta la cosecha varían del 6 al 54% (Tabla 3). Los mayores requerimientos porcentuales de este elemento correspondieron a las variedades IRGA 417 desde el nacimiento hasta el macollamiento, CH 1 desde el macollamiento hasta la diferenciación y RP2 665 desde la diferenciación hasta la cosecha considerándose los resultados de 8 variedades y líneas promisorias de arroz.

## BIBLIOGRAFÍA

- Marín A. R.; Casco, J. y Méndez, M.A. 1995. Fertilización con N, P Y K en Suelos Acidos.. Proyecto Arroz Campaña 1995/96, Pag 59a 64.
- Marín A. R. Méndez, M. A. Y Casco. 1998. Efecto de la fertilización Potasica sobre la toxicidad de hierro en arroz. . Proyecto Arroz Campaña 1997/98, Pag 101 a 104.
- Melgar, R.;Cardozo, W.; Sanabria, M.C.; y Figueroa, M.M. 1993. Respuesta del Arroz al Potasio en Corrientes. Proyecto Arroz Actividades y Logros 1992/93, Pag 57a 59.
- Méndez, M. Marín A. R.; Casco, J.; Tiranti, R. y Gimenez, I. 1997. Fertilización con N, P y K en Diferentes Sitios. Proyecto Arroz Campaña 1996/97, pag 89a 98.
- Méndez, M. y Casco. 1998. Fertilización con N, P Y K en Distintos Sitios. Proyecto Arroz Campaña 1997/98, pag 149 a 151.
- Méndez, M.A y Col. 1999. Fertilización con N; P Y K en dos suelos de Corrientes. Proyecto Arroz Campaña 1998/99, pag 87 a 93.
- Méndez, M. y Col. 1999. Fertilización con Potasio en un suelo de la serie Chavarria. Proyecto Arroz Campaña 1998/99, Pag 125 a 127.
- Méndez, M. y Col. 2000. Fertilización con N, P Y K en Chacra. Proyecto Arroz Campaña 1999/00, Pag 91 a 94.

# RESPUESTA DE LA CAÑA DE AZÚCAR A LA APLICACIÓN DE POTASIO EN TUCUMÁN\*

María A. Correa<sup>1</sup>, Hillel Magen<sup>2</sup>, C. Cusumano<sup>3</sup>, R. Zerrizuela<sup>1</sup>

<sup>1</sup>EEA Famailld-INTA -efama@correo.inta.gov.ar, <sup>2</sup> Instituto Internacional de la Potasa-potash@dsw.co.il, <sup>3</sup> DER Simoca- INTA-efama@correo.inta.gov.ar

## RESUMEN

*El cultivo de caña de azúcar (saccharum officinarum L.) es la actividad agrícola más importante en la provincia de Tucumán; la superficie promedio histórica de cultivo es de 250.000 ha, pero debido a las crisis económicas frecuentes, en el año 2000 se cultivaron solamente 182.000 ha.*

*En el área cañera se encuentran diferentes tipos de suelos, los contenidos de arcillas son variables y predomina la illita. Como consecuencia de ello, la disponibilidad de potasio en el suelo es más alta que los niveles críticos que reporta la bibliografía (0.30 - 0.40 cmol kg/ha); pero hay suelos arenosos con niveles intermedios o bajos de potasio inter-cambiable. También se encuentran suelos con bajos niveles de fósforo, aunque no es común la fertilización con P, solamente se fertiliza con N.*

*Desde 1998, la Estación Experimental Agropecuaria Famaillá del INTA y el Instituto Internacional de la Potasa, desarrollan experiencias de fertilización con potasio en caña de azúcar en la provincia de Tucumán. El objetivo de los ensayos instalados en los departamentos de Simoca y Monteras es evaluar la respuesta cuantitativa y cualitativa de la caña de azúcar a la fertilización con potasio.*

*Los ensayos están sobre suelos franco limas os y franco arenosos, con nivel de potasio intercambiable de entre 0.19-0.67 cmol kg/ha.*

*Los tratamientos evaluados son: K20 (72 kg/ha); N-K2O (55-72 kg/ha); N-P20S (76-55 kg/ha); N-PPs-K20 (76-55-72 kg/ha); testigo (sin fertilizante en plantación). Las variedades utilizadas son: TVC 77-42 en Simoca y CP 65-357 en Monteras, ambas están muy difundidas entre los productores. El fósforo y el potasio fueron aplicados en plantación y se repiten después de la primera y tercera soca; todos los tratamientos serán fertilizados anualmente con N(90 kg/ha). En caña planta no hubo diferencias entre tratamientos ni en rendimiento cultural ni sacarino; tampoco se registraron diferencias estadísticas en concentración de potasio en jugo ni foliar, aunque los tratamientos con potasio tuvieron mayor contenido de potasio foliar.*

*En la primera soca hubo diferencias entre tratamientos en producción de azúcar/ha.*

- Trabajos realizados con apoyo financiero del Instituto Internacional de la Potasa.

# SUGARCANE RESPONSE TO POTASSIUM FERTILIZATION IN TUCUMÁN

*Sugarcane is the most important agricultural activity in the province, it covers an historical average area of 250.000 ha but, due to frequent economical crisis in the year 2000 it had only 182.000 ha.*

*The sugarcane zone has different soil types, the clay content is variable, and illite is the main clay mineral, due to this fact, potassium availability is in general higher than the critical levels reported by referencess (0.30-0.040 mol kg/ha). But some sandy soils have medium and low levels of exchangeable potassium. There are soils with low P concentration, but there is no fertilization with P, only N is applied to the crop.*

*Since 1998, the Experimental Station Famaillá of INTA and the International Potash Institute are developing potassium fertilization experiences in sugarcane in Tucumán. The objective of the trials, located in Simoesa and Monteros departments, is to evaluate the quantitative and qualitative sugarcane response to potassium fertilization.*

*The trials are on silt loam and sandy loam soils with exchangeable potassium levels between 0.19-0.67 mol kg/ha.*

*The treatments evaluated are: K<sub>2</sub>O (72 kg/ha); N-K<sub>2</sub>p (55-72 kg/ha); N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (76-55 kg / ha); N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O (76-55-72 kg/ha); Control (without fertilizer at planting). The varieties used are: TVC 77-42 in Simoesa, and CP 65-357 in Monteros, both are commonly planted by farmers. Phosphorous and potassium were applied at planting and will be applied after first and third ratoon; all the treatments will be addressed every year with N (90 kg/ ha).*

*Sugarcane and sugar yield/ha had no differences for plant cane, neither potassium concentration in juice nor foliar potassium, but treatments with potassium had high levels of potassium in leaves.*

*In first ratoon there was difference among treatments only for sugar/ha.*

## Introducción

La caña de azúcar es la actividad agrícola más importante de la provincia y ocupa una superficie cuyo promedio histórico es de unas 250.000 ha, pero debido a periódicas crisis del sector, en la campaña pasada alcanzó a 182.000 ha.

Históricamente, su importancia relativa pasó de contribuir con un 70% del producto bruto agrícola en el año 1966 a alrededor de un 35 % en el 2000.

La zona productora se localiza en 10 departamentos de la provincia y representa aproximadamente el 10% de la superficie total de la provincia. El paquete tecnológico con que se realiza el cultivo incluye manejo cultural y químico de malezas, fertilización nitrogenada, casi exclusivamente y cosecha mecanizada y semimecanizada.

Aunque hay suelos con niveles moderadamente bajos de fósforo, no se hacen fertilizaciones con este elemento. Respecto al potasio, los suelos del área cañera tienen arcillas en las que predomina la illita, por ello la disponibilidad del mismo es, en general, superior a

los niveles críticos que se mencionan en la bibliografía (0.30-0.40 cmol kg/ha). Sin embargo hay algunos suelos, principalmente arenosos, que tienen niveles intermedios a bajos de potasio.

El potasio es un elemento importante en la nutrición y fisiología del cultivo. La caña de azúcar tiene una alta demanda de potasio, se concentra principalmente en los órganos jóvenes de la planta y, el jugo de caña concentra el 80% del potasio que contienen los tallos. Cuando hay niveles bajos de potasio en suelo, se ve afectado no solamente el rendimiento cultural sino también la producción de sacarosa, ya que hay una mayor concentración de azúcares reductores.

En general el potasio confiere al cultivo cierta tolerancia al déficit de agua en el suelo, a la par que permite una mayor tolerancia a heladas, que son de ocurrencia normal, en la zona cañera.

## **Materiales y Métodos**

El Instituto Internacional de la Potasa y la EEA Famaillá del INTA, iniciaron a partir del año 1998 experiencias de fertilización con potasio en caña de azúcar, en localidades del área cañera tucumana.

Los ensayos exploratorios se implantaron en los departamentos de Simoca y Monteros; que están ubicados en la zona agroecológica de la Llanura Deprimida; esta zona se caracteriza por ser una planicie aluvial de suaves ondulaciones y débiles depresiones, afectada por la presencia de una capa freática a escasa o mediana profundidad. Las precipitaciones tienen un promedio anual de 700-1000 mm, los suelos aluviales son Hapludoles, con perfil de tipo AC, moderadamente bien drenados.

El objetivo de los ensayos es evaluar la respuesta cuantitativa y cualitativa de la caña de azúcar a la fertilización potásica.

Los lotes en los que se implantaron son franco limo y franco arenoso, tienen niveles de potasio intercambiable entre 0.67 y 0.19 cmol kg/ha.

Las variedades de caña utilizadas son TVC 77-42 en Simoca, y CP 65-357 en Montecos.

En un diseño experimental de bloques aleatorizados con 4 repeticiones, se evalúan 5 tratamientos con nitrógeno, fósforo y potasio (las dosis están expresadas como nitrógeno, óxido de potasio y pentóxido de fósforo): K<sup>2</sup> (72 kg/ha); N-K02 (55-72 kg/ha); N-POs (76-55 kg/ha); N-POs-K02 (76-55-72 kg/ha); Testigo (sin fertilizante en plantación). Las fuentes utilizadas son urea, cloruro de potasio y fosfato diamónico. Las aplicaciones de fósforo y potasio se hicieron en plantación y se reiterarán después de la primera y tercera socas. En todos los tratamientos, incluido el testigo, se aplicará nitrógeno anualmente en dosis de 100 kg/ha.

Se evalúan parámetros de suelos, nutrientes foliares, rendimiento cultural (caña kg/ha) y sacarino (azúcar kg/ha).

## Resultados y discusión

Los resultados por localidad se detallan a continuación:

Si moca: **variedad TUC 77-42**

Tratamiento	Planta		Soca 1	
	Caña	Azúcar	Caña	Azúcar
kg/ha				
K °2 - 72 kg/ha	59700	5370	52128	5576 b
N-K02 -55-72 kg/ha	60900	5430	71922	7367 a
N-POs-76-55 kg/ha	61900	5350	71457	7400 a
N-POs-K02.76-55-72 kg/ha	58800	5390	55789	5643 b
Testigo	56400	5270	63091	6580 ab
		-		

(\*)Letras distintas indican diferencias significativas (P<0,05)

**Monteros: variedad CP 65-357**

Tratamiento	Planta	
	Caña	Azúcar
ka/ha		
K °2 - 72 kg/ha	30198	3359
N-K02 -55-72 kg/ha	37239	4054
N-POs -76-55 kg/ha	42259	4852
N-POs-K02.76-55-72 kg/ha	40706	4521
Testigo	37742	4168

En caña planta (se denomina así a la primera cosecha), tanto los rendimientos culturales como los sacarinos no son altos, no registrándose diferencias significativas en ninguno de los ensayos. Las medias se compararon con el Test de Rangos Múltiples de Duncan con un alfa de 0.05.

En Monteros, se evaluó la primera cosecha, debido a que el ensayo se plantó elII de Setiembre de 2000.

## Conclusión

La producción de azúcar dio diferencias entre las medias (Duncan) de los tratamientos, en soca 1, en el ensayo de Simoca. En los análisis foliares no se registraron diferencias estadísticas entre tratamientos, tampoco hubo diferencias entre tratamientos en la concentración de potasio en jugo de caña.

Los resultados de los análisis foliares y de jugo de caña, del ensayo de Monteros, tampoco tuvo diferencias en caña plantá.

Si bien aún no hay una tendencia definida, es esperable que en sucesivas socas se manifiesten las diferencias entre los tratamientos evaluados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Comba, A., M. fernández, E. D'Urso y J. Rongetti. 1995. Posibilidades de Riego en Tucumán. INTA~EEA Famaillá.
- De León Ortiz, M.E. 1992. Bases para la Fertilización Mineral de la Caña de Azúcar. INICA Cuba.
- Korndorfer, Gaspar H. 1990. O potasio e a qualidade da cana -de-acucar. Potafos, Informacoes Agronómicas. NQ 49 Marco/90.
- Malavolta, E. 1994. Nutrient and Fertilizer Management in Sugarcane. IPI-Bulletin NQ 14. Basel, Switzerland.
- Mengel, K. And E.A. Kirkby. 1987. Principles of Plant Nutrition. 4th Edition. IPI-Bern, Switzerland.
- Orlando, José (filho), N. Macedo, H. Tokeshi. 1994. Seja o doutor do seu canavial. Potafos. Encarte do Informacoes Agronómicas NQ 67, Setembro/94
- Zuccardi, R.B. y G. S. Fadda. 1985. Bosquejo Agroecológico de la Provincia de Tucumán. Miscelánea NQ 86. FAZ, UNT.

# REQUERIMIENTOS DE POTASIO EN SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ

**Achim Dobermann**

*Dept. o/ Agronomy and Horticulture, University o/ Nebraska  
P.O. Box 830915, Lincoln, NE 68583-0915, USA {a.dobermann2@unl.edu}*

## RESUMEN

*Los rendimientos promedios de maíz en los EEUU, han aumentado en los últimos 35 años a una tasa de 109 kg/ha por año, principalmente debido a la adopción de tecnologías avanzadas ya la mejora genética de los híbridos. El rendimiento promedio es de 9 t/ha, pero los productores de punta mas progresistas, cosechan normalmente entre 11 y 13 t/ha. El uso de fertilizantes comerciales acusó un elevado incremento en las décadas del 60 y el 70. Sin embargo, los aumentos de los rendimientos del maíz en los años 80 se dan con un estancamiento en el uso de fertilizantes nitrogenados y una disminución de las dosis de P y K. Signos emergentes de deficiencias de K se han vuelto cada vez más comunes en años recientes, particularmente en sistemas de siembra directa. Esto incluye síntomas visuales inusuales, tales como deficiencia de K en las hojas más jóvenes, pero también algunos signos desconocidos de deficiencias de K, menos visibles, que no se detectan fácilmente como síntomas foliares. Las recomendaciones actuales de manejo de nutrientes en los sistemas de cultivo que incluyen maíz, pueden no ser adecuadas para resolver las necesidades futuras.*

*Investigaciones recientes sugieren que (a) los análisis de suelo usados más comúnmente pueden no reflejar las respuestas reales del cultivo al K, (b) los requerimientos de K por unidad de rendimiento del cultivo no son constantes, sino que varían con el nivel de rendimiento y el manejo del cultivo, (c) la variabilidad espacial del K del suelo afecta las estrategias de manejo del K, (d) las diferencias genotípicas influyen en la respuesta al K del suelo y del fertilizante, y (e) características no r-relacionadas a la productividad, tales como resistencia del tallo o calidad del producto deben considerarse al tomar decisiones de manejo del K. En el futuro, los algoritmos de recomendaciones de fertilizantes deberían volverse más cuantitativos y exactos de acuerdo a los diferentes manejos y niveles tecnológicos del cultivo, suelo, clima y potencial de rendimiento. Los niveles simples de una recomendación deben basarse entonces, en condiciones estándares que consideren los principales factores que gobiernan la respuesta del cultivo al nutriente de interés. Tales ajustes pueden hacerse para distintos niveles de complejidad, de modo tal que una recomendación general puede analizarse desglosada en recomendaciones más específicas útiles y detalladas. La zonificación agroecológica y los modelos de simulación de cultivos deberían desempeñar un papel principal en la elaboración de estos ajustes.*

## POTASSIUM REQUIREMENTS OF MAIZE UNDER INTENSIVE CROPPING

*During the past 35 years, average maize yields in the USA have increased at a rate of 109 kg/ha/yr, mainly due to the adoption of improved crop management technologies and genetic improvement of maize hybrids. Average yields approach 9 t/ha (but progressive farmers routinely harvest 11 to 13 t/ha. Commercial fertilizer use rose sharply in the 1960s and 1970s. However, maize yield increases since 1980 were achieved with stagnating fertilizer-N use and declining rates of P and K.*

*Signs of emerging K deficiencies have become more common in recent years, particularly in no-till systems. This includes unusual visual symptoms such as K deficiency on younger leaves, but also an unknown range of less visible K deficiencies that are not easily detected based on leaf symptoms. Present nutrient management recommendations for maize-based cropping systems may not be adequate to meet future needs.*

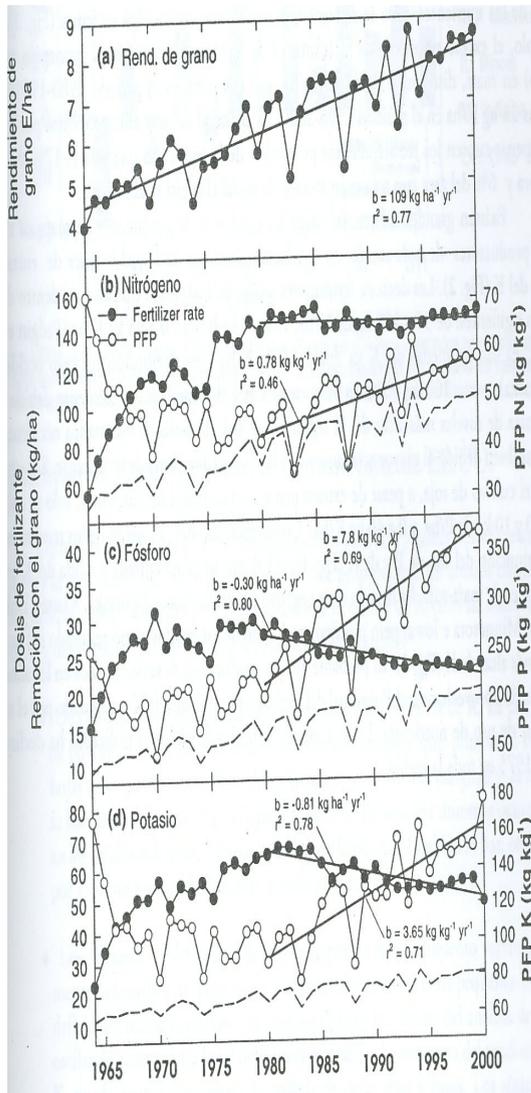
*Recent research suggests that (a) commonly used soil tests may not always reflect the actual crop response to K, (b) crop K requirements per unit yield are not constant, but vary with yield levels and crop management factors, (c) spatial variability of soil K affects K management strategies, (d) genotype differences exist in the response to soil and fertilizer K, and (e) non-yield traits such as stalk strength or product quality must be taken into account in K management decisions. In the future, fertilizer recommendation algorithms should become more quantitative and accurate to account for differences in crop management technologies, soil, and climate-driven yield potential. Single levels in a recommendation should then be based on standard conditions that take into account the major factors governing crop response to the nutrient of interest. Such refinements can be made at different levels of complexity such that a general recommendation can be broken down into more meaningful and detailed specific recommendations. Agroecological zoning and crop simulation models should play a major role in making these refinements.*

## Tendencias en el uso de fertilizantes en el Centro-Norte

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en sistemas bajo riego o de secano, en rotación con soja (*Glycine máx* L.) o como un monocultivo continuo, son los sistemas de cultivo predominantes en Norteamérica. Cerca de 30 millones de has de maíz para grano se cosechan anualmente en los EE.UU., la mayor parte de éstas se ubican en los 11 estados que comprenden el cinturón maicero (Corn Belt) y producen más de 210 millones de t, representando el 35% de la oferta global de maíz. Durante los últimos 35 años, el rendimiento promedio de maíz ha aumentado con una tendencia lineal promedio de 109 kg/ha por año (Fig. 1), principalmente debido a la adopción de tecnologías mejoradas de manejo de cultivo y a la mejora genética de los híbridos que complementan estas prácticas de manejo (Duvick y Cassman, 1999). El uso de fertilizantes comerciales aumentó significativamente entre los años 60 y 70 en respuesta a la adopción de híbridos mejorados de maíz ya condiciones económicas favorables (Uri, 1998). Sin embargo, los rendimientos de maíz aumentaron desde el año 80 hasta llegar a un

estancamiento en el uso de fertilizantes Nitrogenados y una disminución de las dosis de P y K, que condujeron a aumentos significativos en el llamado factor parcial de productividad de estos macronutrientes (PFP, kg de grano por kg de nutriente aplicado) (Fig. 1).

Figura 1. Tendencias en rendimiento de grano, uso de N, P Y K (círculos llenos), factor parcial de productividad de nutrientes fertilizantes (círculos abiertos, PFP = kg grano por kg nutriente aplicado), y remoción de nutrientes con el grano (línea de puntos, kg elemento/ha) en maíz cultivado en USA (Dobermann y Cassman, 2002).

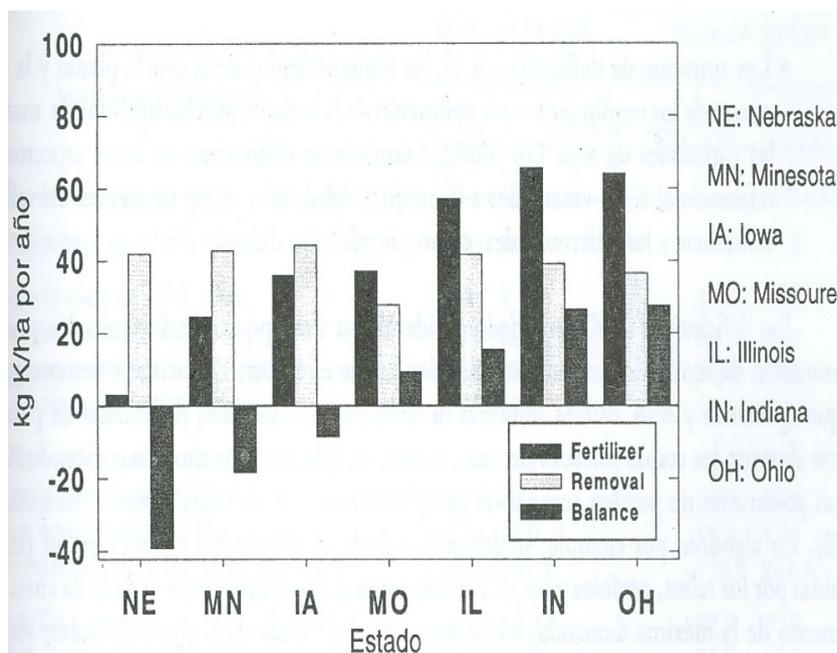


Fuentes: USDA National Agricultural Statistics Service, y USDA-ERS Annual Cropping Practices Surveys. Remoción de nutrientes con el grano fue calculada asumiendo una concentración promedio de 1.4% N, 0.27% P, Y 0.35% K en el grano

Los tres factores que probablemente han contribuido a mejoras en la eficiencia del uso de nutrientes son: (i) Aumentos en el rinde y cultivos de crecimiento más vigoroso, que se asocian a una creciente tolerancia al stress de los híbridos modernos (Duvick y Cassman, 1999); (ii) Mejor manejo de los factores de producción incluyendo el de los fertilizantes (labranza conservacionista, calidad de semilla, mayor densidad de siembra, etc.) y (iii) un mejor manejo del N. Muchos productores también invirtieron en fertilidad de suelo con un uso del P y del K que excedió la cantidad exportadas con los cultivos. Las dosis promedio de fertilizante usadas por los productores de maíz en 1965 excedieron las cantidades netas removidas de los nutrientes, pero la diferencia va disminuyendo en años recientes (Fig. 1). Por ejemplo, el exceso promedio de K (cantidad de fertilizante menos el K exportado con el grano) en maíz, disminuyó de 47 kg K/ha por campaña en el periodo 1980-1984 hasta apenas 28 kg K/ha en el periodo 1996-2000. La cantidad de nutrientes provistos por estiércol, apenas cubren los requerimientos promedios de la región, ya que solo el 17% del área maicera y 6% del área con soja usan abonos de corral (Padgitt et al., 2000).

Existen grandes diferencias entre los estados en la producción de maíz así como entre productores de cada estado, en lo relacionado al uso de K y al balance de entrada y salida del K (Fig. 2). Las dosis de fertilizantes usadas en maíz están típicamente dentro de los rangos siguientes: de 95 a 185 kg de N/ha, 10 a 34 kg P/ha, y 0 a 95 kg K/ha (Padgitt et al., 2000). El uso promedio del K va desde 2,5 kg K ha<sup>-1</sup> en el cinturón maicero occidental (Nebraska) a casi 100 kg K/ha en la parte oriental (Indiana), principalmente debido a la existencia de niveles más altos de K según los análisis de suelo en los estados occidentales, pero también debido al mayor acercamiento a las recomendaciones de fertilizante. Sin embargo en el cultivo de soja, a pesar de extraer una mayor cantidad de nutrientes, solo se aplican entre 0 y 10 kg de P/ha y 0 a 40 kg K/ha. Como resultado del aumento de los rendimientos y disminución del uso de P y de K (Fig. 1), el balance anual de entrada y salida del K en las rotaciones de maíz-soja, ha llegado a ser negativo en estados como Nebraska, Kansas, Dakota del sur, Minnesota e Iowa, pero positivo en el resto de los estados como resultado del uso de dosis más altas de K (Fig. 2). Es probable que los productores de varios estados en los años 70 han estado aprovechando el P residual del suelo y el suministro de K acumulado por el nivel anterior de uso de nutrientes. La relación K:N de los fertilizantes utilizados ha declinado desde 1975 en toda la región.

Tabla 2. Uso anual de K, remoción del K con el grano, y balance de entrada y salida de K en sistemas de cultivo de maíz y soja en la región Norte-Central.



Fuentes: USDA-ERS Annual Cropping Practices Surveys. Todos los números mostrados se refieren al uso de fertilizante por área sembrada de maíz y de soja en 1999. El potasio exportado con el grano fue calculado asumiendo una concentración promedio de 0,35% K en el grano de maíz y 2,3% K en semilla de soja.

## Deficiencias de K emergentes en el Centro-Norte de EE.UU.

Deberíamos referirnos a las tendencias descritas y saber si ya afectaron el crecimiento del maíz y la soja en el cinturón maicero? Es imposible proporcionar un análisis cuantitativo de la severidad y de la extensión en superficie de las deficiencias de K, pero las observaciones a campo y datos recientemente recolectados sugieren lo siguiente:

- Una emergencia clásica es un síntoma inusual de deficiencia de K. La deficiencia de potasio conduce normalmente a una clorosis marginal que primero se ve en las hojas más maduras, pero, bajo deficiencia severa, la clorosis marginal y la necrosis se han observado también en hojas más jóvenes. En soja, los síntomas ocurren solo en los tejidos más nuevos (hojas más altas de la planta). También se han observado, por ejemplo puntos cloróticos y clorosis intermerval.
- Los síntomas de deficiencia de K y la respuesta del rendimiento varían extensamente dentro del lote, pero se ven más frecuentemente en áreas pequeñas. Las áreas deficientes pueden detectarse en cualquier punto por medio del análisis de suelos, oscilando entre valores bajos de K hasta muy altos. La respuesta del rendimiento al K, puede ocurrir con valores de análisis de suelo altos y bajos. Los síntomas de deficiencia de K son más frecuentes en suelos con deficiente humedad, después de la etapa V6/V7 del maíz y pueden desaparecer después de una lluvia.

- Los síntomas de deficiencia de K son mas frecuentes en sistemas de siembra directa y labranza en franjas (ridge-till) que con labranza convencional.
- Los síntomas de deficiencia de K, los requerimientos de K por la planta y la respuesta de los rendimientos a la aplicación de K varían según los híbridos de maíz y las variedades de soja. Los híbridos también se diferencian en otros aspectos en referencia al K no vinculados a la productividad, tales como resistencia del tallo y resistencia a las enfermedades como putrefacción del tallo.

Las deficiencias de K son difíciles de identificar a campo en estadios iniciales, pero la disminución de rendimientos debido a deficiencias de este nutriente ocurren siempre antes de que aparezcan y sean visibles síntomas de deficiencia. Cuando la deficiencia de potasio ocurre durante las etapas iniciales de crecimiento, la aplicación de dosis mas altas de K en etapas posteriores no pueden compensar completamente la deficiencia anterior (Bergmann, 1992). En algodón, por ejemplo, la deficiencia de K es perceptible primero en las raíces, seguidas por los tallos, pedolos y hojas. Debido a que el almacenamiento de K se da antes del momento de la máxima demanda, los síntomas de deficiencia de K pueden hacerse visible solo dos a tres semanas después de que el K fuera almacenado (Bednarz y Oosterhuis, 1999). Así, es probable que formas sutiles de deficiencias de K, estén más extensamente distribuidas en el cinturón maicero, pero no se reconocen a campo. Este detalle particular se refiere a la concentración sub-óptima de concentraciones de K en la savia y tejidos de la planta, que pueda reducir la tasa de crecimiento del cultivo, pero que no se muestra como síntomas visibles de deficiencia.

En EE.UU., el uso de la labranza conservacionista (siembra directa, labranza en franjas ridge-till, labranza sobre rastrojos, mulch-till) ha aumentado a un 47 % del total del área plantada con maíz y soja (Padgitt et al., 2000). A largo plazo la labranza conservacionista puede conducir a la acumulación de K en la superficie del suelo (debido a la aplicación de fertilizantes al voleo, a la extracción desuniforme de nutrientes por las raíces, y al retorno anual de residuos en la superficie) o puede crear handas en el suelo con altos niveles de K, debido a la repetida colocación de los fertilizantes a lo largo de las líneas de siembra o franjas (Mackay et al., 1987; Vyn y Janovicek, 2001). El maíz en tales sistemas puede llegar a ser deficiente en K, particularmente bajo stress hídrico, pero hay también una gran variación debido a los diferentes genotipos bajo cultivo. Estudios en Minnesota indican que ciertos híbridos de maíz pueden tener una mayor actividad de la absorción de K por las raíces en la capa superficial del suelo (0-15 cm), mientras que otros híbridos tienen raíces de mayor longitud y actividad por debajo de los 15 centímetros, aunque la densidad total de raíces puede ser igual (Allan et al., 1999).

**Tabla 1.** Respuesta de dos híbridos de maíz la aplicación de potasio en el suelo arenoso Valentine .<sup>1</sup>

Variables medidas <sup>4</sup>	Pioneer® 34R07 <sup>2</sup>		Pioneer® 33G27 <sup>3</sup>	
	Dosis de K (kg K/ha)			
	0	140	0	140
Rendimiento de Grano (t/ha)	10.7	10.9	11.3	11.8
Materia seca en V12 (t/ha)	3.4	3.1	3.8	3.8
Materia fresca en V12 (t/ha)	33.9	32.6	39.5	41.4
Agua en los tejidos en V12 (t/ha)	30.5	29.5	35.7	37.6
K acumulado en V12 (kg/ha)	104.01	38.7	157.0	191.9
Materia seca en MF (t/ha)	17.0	17.2	18.3	19.5
Materia fresca en MF (t/ha)	30.9	30.1	33.6	36.6
Agua en los tejidos en MF (t/ha)	13.9	12.9	15.3	17.1
Acumulación de K en el MF (kg/ha)	146.1	164.3	175.4	207.0
Cont. De humedad del tallo al MF (%)	69.2	67.9	62.7	70.8
Cont. De humedad del tallo a la cosecha (%)	28.4	34.7	35.2	54.9
Diámetro del tallo en MF (mm)	19.9	19.7	19.3	20.0
Diámetro del tallo en la cosecha (m m)	18.2	17.8	19.5	20.6
Carga para quebrar el tallo en el MF (kg)5	19.0	17.3	17.6	18.6
Carga para quebrar el tallo a la cosecha (kg)5	14.8	13.2	15.3	17.5

<sup>1</sup> Experimento de campo conducido en 2000 en Pierce, Nebraska. El contenido inicial promedio de K intercambiable en el suelo era de 109 mg K/kg en los 0-15 cm de profundidad y de 61 mg K/kg en los 15 a 60 cm de profundidad. Los valores muestran promedios de la repetición de cinco parcelas. (A. Dobermann, C. Shapiro, y T. Doerge, datos no publicados).

<sup>2</sup> P34R07 - Rango desde 1 (pobre) a 9 (sobresaliente): Resistencia del tallo 3, altura de la espiga 5, Resistencia a la pudrición del tallo 3.

<sup>3</sup> P33G27 - Rango desde 1 (pobre) a 9 (sobresaliente): Resistencia del tallo 7, altura de la espiga 7, Resistencia a la pudrición del tallo 5

<sup>4</sup> V12 - V12 Estadios, Crecimiento vegetativo tardío (7 Julio). MF -madurez fisiológica (18 de Septiembre).

<sup>5</sup> Medido como kg de fuerza aplicada sobre el 4'0 entrenudo debajo de la espiga el 18 de Septiembre (MF) y 10 de Octubre 10 (Cosecha final).

Otro ejemplo de diferencias de respuesta entre híbridos a la oferta de K del suelo se muestra en la tabla 1. Dos híbridos de maíz con distintas características de crecimiento fueron cultivados en un suelo arenoso con riego total y adecuado suministro de N y P, con y sin uso de K. Con el híbrido Pioneer 34R07, el uso de K no aumentó el rendimiento de materia seca o fresca total tanto al estadio V12 como a la madurez. También hubo un menor efecto sobre parámetros tales como resistencia del tallo a la madurez fisiológica (MF), la aplicación de K incluso disminuyó la resistencia del tallo al final de la cosecha. En cambio el segundo híbrido, Pioneer 33G27, acumuló de 30 a 40 kg de K/ha más a los dos niveles de K evaluados y obtuvo rendimientos significativamente mayores que el 34R07. Tuvo una acumulación de K más rápida durante el crecimiento vegetativo, mantuvo también entre un 20 a 30 % mayor concentración de K en el tallo y la hoja durante todo el período total de crecimiento, y produjo

una cantidad mucho mayor de biomasa fresca. Las diferencias entre híbridos fueron más llamativas en la etapa V12, cuando el 33G27 había acumulado 5,6 (O K) o 8,8 t/ha (con 140 kg K/ha) más biomasa fresca que el híbrido 34R07, sugiriendo una mayor expansión celular, que además fue incrementada por la aplicación de K. En el híbrido 33G27, la aplicación de K aumenta el contenido de agua del tallo, así como el diámetro y la resistencia del mismo, tanto a la madurez fisiológica como a la cosecha. Por otra parte, los tallos del híbrido 33G27 perdieron menos humedad y su diámetro no cambió durante el período de tres semanas que va desde la MF al final de la cosecha, resultando en una constante resistencia del tallo durante este período. Esto es una consideración importante para evitar pérdidas a la cosecha por la putrefacción del tallo, inducida por los vientos fuertes.

### **El comportamiento fisiológico del potasio**

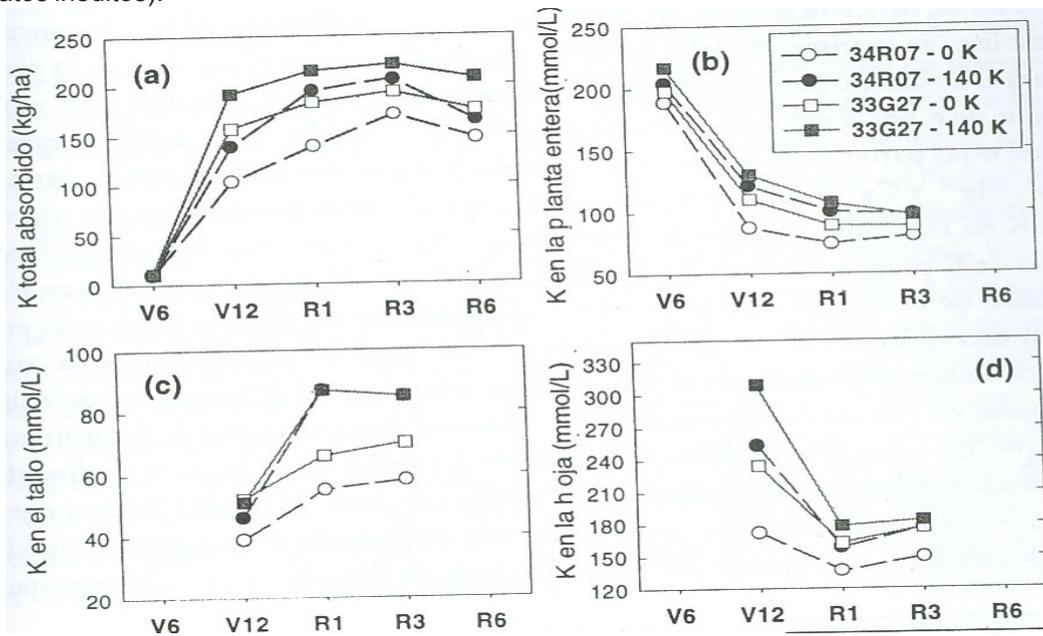
Los síntomas no característicos de deficiencia de K recientemente informados en soja y maíz en el cinturón maicero no son nuevos. Observaciones similares fueron hechas para canola en Alemania (Pissarek, 1973) y algodón en California (Weir et al., 1988; Maples et al., 1989). Bergmann (1992) también muestra ejemplos para otros cultivos. Aunque el K se considera móvil en la planta, durante el desarrollo de las hojas jóvenes puede aparecer cierta pigmentación roja o llegar a la clorosis internerval (Grundon et al., 1997). Una introyección sobre la función del K en los diferentes compartimentos de la célula, particularmente la vacuola y el citoplasma (Leigh, 2001) pueden ayudar a explicar las observaciones de deficiencias de K así como también entender las necesidades de K de los cultivos para los diferentes niveles de productividad.

La mayoría del  $K^+$  en las plantas está situado dentro de la vacuola central de las células, donde funciona como regulador osmótico, desempeñando un papel en la expansión celular y la estabilidad física, incluyendo la resistencia a la entrada de parásitos. Por lo tanto, los cambios en los valores de concentración de K en los tejidos, reflejan principalmente los cambios a nivel de K vacuolar. Las concentraciones de  $K^+$  en las vacuolas responden rápidamente al suministro externo de K y pueden llegar a niveles muy bajos bajo una deficiencia severa. Al contrario de lo que se pensaba antes, ahora aparece que no hay un límite inferior conocido de la concentración vacuolar de  $K^+$  (Leigh, 2001), probablemente porque las funciones de  $K^+$  en la vacuola se pueden compensar en gran parte por concentraciones crecientes de otros cationes ( $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) bajo una situación de deficiencia de K (Marschner, 1995). Sin embargo, hay evidencias de un límite superior, donde un aumento posterior del suministro de K no incrementa la concentración de  $K^+$  vacuolar. Una vez que se alcanza el límite superior, la absorción de K por la planta y el crecimiento se emparejan para mantener la concentración vacuolar (y por lo tanto en el tejido medio) de  $K^+$  relativamente constante. Estudios a campo en Rothamsted sugirieron que las concentraciones de K en los tejidos de cebada y gramíneas no excedían los 200 mmol/L, independiente de un aumento adicional del suministro de K del suelo (Leigh y Johnston, 1983). Se ha sugerido utilizar este valor como patrón de referencia, contra la que se puede determinar la suficiencia del suministro de K (Leigh y Wyn Jones, 1984; Leigh, 1989). Sin embargo, estudios más recientes sugieren que

los límites superiores del  $K^+$  vacuolar difieren entre cultivos y aún entre diferentes partes de la planta tales como raíces y brotes de la misma especie. Por ejemplo, plantas de cebada y arveja cultivadas en una solución nutritiva de flujo rápido, tenían los límites superiores de las concentraciones de K en los brotes de 200 y 150 mmol/L, respectivamente. En las raíces, los límites superiores eran de 120 mmol/L para cebada y 100 mmol/L para arveja (Asher y Ozanne, 1977).

Datos de estudios recientes con maíz a campo también sugieren que existen tales diferencias entre híbridos y entre partes de la planta, pero también que los límites superiores varían con las etapas de crecimiento (Fig. 3). Comparado con el híbrido 34R07, el híbrido 33G27 se caracterizó por una mayor acumulación total de K en la planta durante el ciclo de cultivo (Fig. 3a), con y sin aplicación de K. Este híbrido acumuló más materia verde fresca y por lo tanto tenía cantidades mayores de agua vacuolar, particularmente durante el crecimiento vegetativo hasta la etapa V12 (Tabla 1). Mantuvo una mayor concentración de K en el agua de los tejidos en base al total de la planta (Fig. 3b), pero se observaron diferencias entre tallos y hojas. En maíz la concentración de K en el agua de los tejidos del tallo aumentó desde el estadio V12 hasta el estadio R1 y, sin aplicación de K, fue mayor en 33G27 que en 34R07 (Fig. 3c). La aplicación de suficiente K elevó la concentración del K del tallo a niveles de 90 mmol/L similares en ambos híbridos. En contraste, la concentración de K del agua de los tejidos de las hojas fue mucho más alta que en los tallos en general, pero disminuyó los niveles máximos: 250 (34R07) y 300 mmol/L (33G27) en el estadio V12, y 170 (34R07) y 180 mmol/L (33G27) durante el crecimiento reproductivo (Fig. 3d).

Figura 3. Efecto de la aplicación de potasio (O y 140 kg K/ha) en la absorción de K por la planta y concentraciones de K en el agua de los tejidos de la planta entera, tallos y hojas de dos híbridos del maíz (Pioneer 34R07 y Pioneer 33G27) en diferentes estadios de crecimiento. Experimento de campo conducido en Pierce, Nebraska, 2000 (A. Dobermann y C. Shapiro, datos inéditos).



A pesar de la gran cantidad de K almacenado en las vacuolas, el crecimiento y los requerimientos esenciales de  $K^+$  parecen estar más relacionados con su papel activador de los procesos bioquímicos en el citoplasma (Leigh y Wyn Jones, 1984). El K citosólico parece no ser reemplazable en sus funciones y cualquier disminución de la concentración de  $K^+$  citosólico afectará muchos procesos específicos en la planta. Esto se refiere particularmente a una gran cantidad de reacciones enzimáticas que dependen completamente del  $K^+$ , o que son estimuladas por éste (Lauchli y pflüger, 1978; Marschner, 1995). Interesantemente, estudios recientes con microelectrodos sugieren que la actividad citosólica del  $K^+$  en células vegetales se mantiene comúnmente cerca de 80 mmol/L tanto en las células de las hojas como de las raíces (concentraciones entre 100 a 150 mmol/L) y es menos sensible a los cambios del suministro de K que a la concentración vacuolar de  $K^+$  (Walker et al., 1996; Walker et al., 1998) El K citosólico bajo un estrés moderado de K disminuye levemente, pero puede disminuir muy rápidamente a valores mucho más bajos durante una severa deficiencia (Leigh, 2001). Debido a sus altas concentraciones, el  $K^+$  citosólico neutraliza los aniones orgánicos e inorgánicos, estabilizando el pH entre 7 y 8, que es el nivel óptimo para la mayoría de las reacciones enzimáticas. Por ejemplo, una deficiencia inducida de K disminuyó el pH citosólico desde 7,7 a 6,5 casi inhibió completamente la actividad de la enzima nitrato reductasa (pflüger y Wiedemann, 1977). Por lo tanto, cualquier disminución de K citosólico tendrá un severo efecto en el crecimiento y rendimiento.

En resumen, la evolución de síntomas de deficiencia de K y su efecto sobre el crecimiento depende de la severidad de la disminución de las concentraciones del K vacuolar y citosólico, que están en función de (i) las cantidades demandadas de K por el cultivo para los procesos de desarrollo en las diferentes etapas de crecimiento, incluyendo la competencia del  $K^+$  entre procesos, (ii) de las cantidades de suministro externo de K y absorción radicular, (iii) del potencial interno de  $K^+$  almacenado en la planta, y la velocidad máxima de retranslocación, y (iv) velocidad de los posibles mecanismos de sustitución de cationes. Presumiblemente, en una situación de deficiencia de K, las células procurarán primero mantener la concentración de K citosólico en detrimento del K vacuolar, particularmente en las partes de la planta más vitales para el desarrollo posterior del cultivo. Esto puede conducir entonces a un aumento de la absorción de K por la raíz o, si el suministro de K del suelo es limitado, a una re-translocación de K desde otras partes de la planta, o bien puede incrementar la absorción de cationes tales como  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ , y  $Ca^{2+}$  o solutos orgánicos, para que al menos puedan sustituir parcialmente el rol del K en funciones no específicas (vacuolar). Si estos recursos fueran insuficientes, la deficiencia de K progresará en su desarrollo, causando posiblemente una caída en el potencial osmótico de la vacuola y de la presión de turgencia de las células, resultando en consecuencia en una contracción celular. En casos severos, también puede declinar la concentración de K citosólico, disminuyendo el pH citosólico, y la velocidad de las reacciones enzimáticas. Por otra parte, en plantas deficientes de K, la velocidad de exportación de fotosintatos desde las hojas (por Ej. hojas jóvenes fotosintéticamente activas) a otros órganos declina debido a una disminución del potencial osmótico en las células tubulares del floema (Marschner, 1995). En las leguminosas, esto puede causar un suministro inadecuado de azúcares a los nódulos de la raíz, reduciéndose así considerablemente las tasas de fijación de  $N_2$  y la exportación de

compuestos nitrogenados a otras partes de la planta (Collins y Duke, 1981). Muchos de estos procesos en plantas deficientes de K pueden causar acumulación de carbohidratos solubles y de compuestos de nitrógeno (Marschner, 1995), pero solo en casos severos de Stress llegan a ser visibles los puntos cloróticos y necróticos que aparecen a causa de una contracción o colapso completo de los tejidos.

Es probable que en situaciones de escasez de demanda-oferta de K, los procesos descritos pueden afectar también tejidos jóvenes, porque la demanda de K es mayor en las zonas de crecimiento rápido, pero pueden tener que competir con otros procesos de desarrollo. Se piensa que en las variedades modernas de algodón, que tienen un período fructífero más corto, el K que se mueve hacia arriba desde las raíces es interceptado por la cápsula que se está formando, causando deficiencias en las hojas superiores (Oosterhuis, 1999). Procesos similares ocurren en híbridos de maíz y variedades modernas de soja.

## Requerimientos de K por los cultivos

Los escenarios fisiológicos descritos arriba requieren estudios adicionales, pero ilustran la importancia del K durante todas las etapas de crecimiento y eso puede llegar a ser más importante a medida que los rendimientos continúen en aumento. El tema es entonces cuánto K necesita acumular un cultivo de maíz para alcanzar cierto rendimiento. Esto es de particular interés para los productores que utilizan estrategias de «reposición y mantenimiento» o de «reposición según la remoción del cultivo», para el manejo del K por Ej. Estimar el K removido con las cosechas por unidad de rendimiento como base para decidir cuánto K debe aplicarse. Investigaciones a largo plazo en maíz en Nebraska concluyeron que las recomendaciones de fertilización basadas en la remoción del cultivo pueden conducir aun uso poco económico de los fertilizantes de P y de K sin aumentos significativos de rendimiento con respecto al «criterio de suficiencia» basado simplemente en categorías de interpretación de los análisis de suelo (Olson et al., 1982). Sin embargo, debemos preguntarnos si la estimación correcta de los requerimientos nutricionales del cultivo se usan actualmente en investigación y en el manejo comercial de fertilización, porque los datos usados (i) derivan normalmente de experimentos de campo conducidos en unos pocos sitios, que normalmente están situados en centros de investigación con suelos con altos niveles de fertilidad, (ii) asumen linealidad entre el rendimiento del cultivo y la acumulación de nutrientes, y (iii) no toman en cuenta la interacción entre el nivel de nutrientes y factores climáticos con el potencial de rendimiento como fuerza motora de óptimos requerimientos nutricionales (Witt et al., 1999). Aunque los experimentos de investigación proveen una valiosa información para un sitio dado, los resultados pueden extrapolarse solo en parte para estimar los requerimientos nutricionales de los campos de productores, ya que la variedad de suelos, factores climáticos, y condiciones agronómicas a nivel de predio son mucho más amplias. Ejemplos de datos publicados en la literatura sobre la absorción de K en maíz van de 15 a 34 kg de K por t de rendimiento de grano, sin un efecto consistente de los niveles de rendimiento sobre tales

datos (Tabla 2). Esos valores parecieran sobreestimar las necesidades de K de la planta para una nutrición balanceada.

Tabla 2. Ejemplos de estimaciones publicadas de absorción de K en maíz

Fuente	Rinde de grano kg/ha	K absorbido kg K/ha	K absorbido/ unidad rinde kg K por Mg de grano
Hanway, 1962	1190	32	26.9
Sayre, 1948	6400	128	20.0
Hanway, 1962	7150	106	14.8
Hargrove, 1.985	7620	249	32.7
Hargrove, 1985	9290	315	33.9
Karlen et al., 1987	10990	258	23.7
Karlen et al., 1987	13400	372	27.8
Karlen et al., 1988	16300	386	23.7

Datos obtenidos a partir de dos experimentos de campo conducidos recientemente en Nebraska ilustran cómo los niveles de producción interaccionan *con* los nutrientes y afectan la absorción de K por unidad de rendimiento alcanzado. En el primer estudio, en un suelo arenoso en Pierce, una aplicación moderada de K *no* tuvo ningún efecto en el rendimiento de maíz a un nivel de rinde de 11 t/ha, aunque la absorción de K en el tratamiento *con* aplicación de K (15,5 kg K por t de rendimiento de grano) estuvo cerca del nivel óptimo propuesto (Tablas 3 y 4). En este caso, sin embargo, la absorción del fósforo (P) por unidad de rendimiento estuvo por debajo del nivel óptimo, sugiriendo que el suministro de P fue un factor limitante del rendimiento. En un segundo estudio, en un suelo fértil en Lincoln, el rendimiento de grano, a una densidad de 67.000 plantas/ha fue de 14,7 t/ha, requiriendo 20,9 kg de K por t de rinde de biomasa aérea (Tabla 3). El aumento de la densidad a 104.000 plantas/ha elevó la producción a 16,1 t/ha, pero a costa de una mayor absorción de K (25,9 kg K por t de rendimiento). A medida que los rendimientos se aproximan a los techos existentes, el requerimiento interno de K de la planta aumenta para sostener las funciones fisiológicas de una cantidad significativamente creciente de biomasa aérea *No* se observó tal efecto para P, t Ó S, mientras que el aumento adicional de rendimiento en Lincoln, estuvo asociado a un leve aumento del requerimiento interno de N de la planta. En contraste, en ambos sitios, la cantidad neta de nutrientes exportados con el grano fue similar (3,0 a 3,6 kg K por t de grano producido) y *no* hubo efecto sobre esto de *los* diferentes niveles de rendimiento absoluto.

Si existen límites superiores de la concentración de K<sup>+</sup> vacuolar, también podemos preguntarnos sobre una noción de uso tan frecuente *como* la de «consumo de lujo» de K por las plantas. El consumo de lujo puede definirse *como* una elevada absorción de K de modo tal que exceda las necesidades de K para un determinado rendimiento real alcanzado. Sin em-

bargo, en cultivos como el maíz; cerca del 90% del K total acumulado en la planta se logra al llegar a la antesis (Fig. 3), normalmente algo mas adelante de la tasa del crecimiento vegetativo de la biomasa. Ante una situación de adecuado suministro externo de K, el cultivo absorbe suficiente K durante el crecimiento vegetativo para sustentar las tasas de crecimiento máximo de la biomasa, pero también está relacionado a la fortaleza física de la planta. Las concentraciones de potasio se mantienen cerca de sus límites superiores. Se produce un reservorio de K vacuolar mayor para sustentar la esperada velocidad máxima de llenado de grano, que ocurrirá durante la subsiguiente fase reproductiva proporcionando estabilidad física para sustentar el fruto. Según lo mostrado en la Tabla 1 y la Fig. 3, 13. creciente acumulación de K total por el maíz estuvo asociada tanto al mayor volumen (cantidad de agua en el material fresco de los tejidos de la planta en la etapa VI2), como a la mayor concentración de K vacuolar. Sin embargo, si factores de estrés afectan el desarrollo reproductivo (alta temperatura, escasez de suministro de agua, deficiencias nutritivas, parásitos, etc.), el rendimiento de grano se reduce por debajo de los niveles que eran potencialmente alcanzables con la cantidad de K absorbida por la planta hasta la antesis. Debiera esto llamarse «consumo de lujo» de K, particularmente si algo de lo descrito fuera causado por un manejo sub-óptimo del cultivo que afectara la fase reproductiva?

Tabla 3. Nutrientes absorbidos y removidos en maíz con diferentes densidades de plantas, uso de fertilizantes, y rendimientos en dos localidades de Nebraska. En ambos sitios el maíz fue sembrado después de la soja.

Sitio	Densidad de planta	Fertilizante	Rendimiento	N	P	K	Mg	S
	Plantas/m <sup>2</sup>	kg N-P-K/ha	!/ha	Total absorbido (kglt rinde de grano)				
Pierce <sup>1</sup>	7.3	280 - 13 - O	11.0	20.0	2.2	14.2	2.3	17
	7.3	280 - 13 - 70	11.0	20.6	2.1	15.5	2.2	1.7
Lincoln <sup>2</sup>	6.7	225-45-85	14.7	18.6	3.5	20.9	1.8	1.6
	10.4	225-45-85	16.1	19.6	3.1	25.9	1.8	15
				Remoción con el grano (kglt grano rendim.)				
Pierce	7.3	280 - 13 - O	11.0	13.5	1.7	3.1	0.8	1.1
	7.3	280 - 13 - 76	11.0	13.3	1.7	3.0	0.8	1.0
Lincoln	6.7	225-45-85	14.7	11.7	2.6	3.6	1.2	1.0
	10.4	225 - 45 - 85	16.1	11.7	2.4	3.3	1.0	0.9

<sup>1</sup> Nordeste de Nebraska. Promedio de tres híbridos, 2000, ArehOso Valentine, 110 ppm de K.

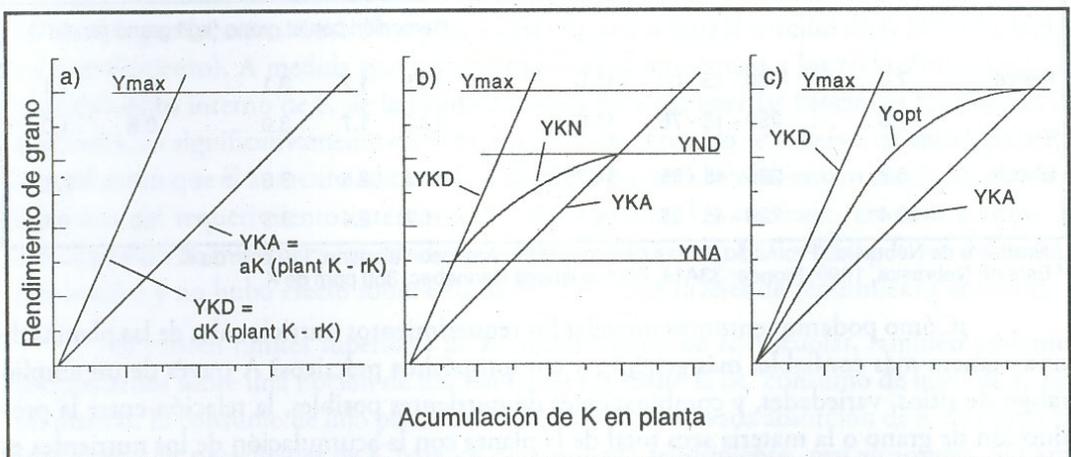
<sup>2</sup> Este de Nebraska, 1999, Pioneer 33A 14, Franco limoso Kennebec, 350 ppm de K.

¿Cómo podemos entonces modelar los requerimientos nutricionales de las plantas de una manera más confiable, más genérica y con propósitos prácticos? A través de un amplio rango de sitios, variedades, y combinaciones de nutrientes posibles, la relación entre la producción de grano Q la materia seca total de la planta con la acumulación de los nutrientes es extensivamente dispersa. En un trabajo anterior, C.T. de Wit y después H. Van Keulen (Van

Keulen y Van Heemst, 1982; van Keulen, 1986) estudiaron la relación entre los rendimientos y la acumulación de nutrientes por la planta para varios cultivos, incluyendo el maíz. Demostraron que la relación estaba en un rango lineal seguido por una meseta parabólica; concluyeron también que existe un límite superior en el que las concentraciones de nutrientes en la biomasa de la planta se diluyen hasta el máximo grado posible, que es cuando ese nutriente es el único factor que limita los rendimientos. De manera similar, observaciones sobre los límites superiores de concentraciones de  $K^+$  en el agua de los tejidos de determinados cultivos, sugieren que también hay un límite inferior a la máxima acumulación de  $K$  en la planta.

Por lo tanto, puede utilizarse un modelo marco, en el cual dos límites lineares describen un rango que se extiende desde la máxima acumulación a la máxima dilución de un nutriente en la planta (Janssen et al., 1990; Witt et al., 1999). Si estos «rangos» se desarrollan para diferentes nutrientes, pueden combinarse matemáticamente en curvas lineal-meseta-parabólica de una óptima nutrición. (balanceada) que considerara la interacción entre esos nutrientes. La Fig. 4 muestra un ejemplo de aproximación al modelo de relación entre rendimiento y absorción de potasio afectado por la absorción de nitrógeno, pero se aplica igual para modelar otros nutrientes. En la Fig. 4a, una estimación de absorción específica de  $K$ , da lugar a dos estimaciones de rendimiento, una estima para la situación donde el  $K$  está en el punto de máxima acumulación ( $YKA$ ) y otra donde el  $K$  está en su máxima dilución ( $YKD$ ). En la Fig. 4b, una estimación del rendimiento limitada por el  $K$  afectada por la fuente de  $N$  ( $YKN$ ) se obtiene a partir de la superposición matemático de los posibles rangos de rendimiento identificados para la absorción de  $K$  y  $N$ . Cierta  $N$  absorbido resultó en dos estimaciones de rendimientos limitados por el  $K$ , que dependen de si el  $N$  está máximamente acumulado ( $YNA$ ) o diluido en la planta ( $YND$ ). Dentro de los rangos de rendimiento que es posible basarse en la absorción de  $N$  ( $YNA$ - $YND$ ), una ecuación parabólica se utiliza para estimar el  $YKN$  de la absorción de  $K$ .

Figura 4. Relación esquemática entre el rendimiento de grano y acumulación de nutrientes en la planta



En la Fig. 4a, las líneas del borde representan la máxima dilución (YKD) y acumulación de potasio (YKA) en la biomasa aérea. Las constantes  $a_K$  y  $d_K$  determinan la pendiente de la línea límite respectiva, mientras que la constante  $r_K$  es el requerimiento de absorción mínima de K para producir un rendimiento de grano medible.  $Y_{max}$  es el potencial de rendimiento climático-genético. En la Fig. 4b, el rango de rendimiento que puede alcanzarse con determinado N absorbido se indica con dos líneas horizontales que representan situaciones de dilución máxima (YND) y acumulación de N (YNA), mientras que  $Y_{KN}$  es la estimación de rendimiento, combinada para la absorción de K y N. En Fig. 4c,  $Y_{opt}$  representa el requerimiento óptimo de absorción de K para alcanzar cierto rendimiento sin que otros nutrientes sean limitantes (Witt et al., 1999).

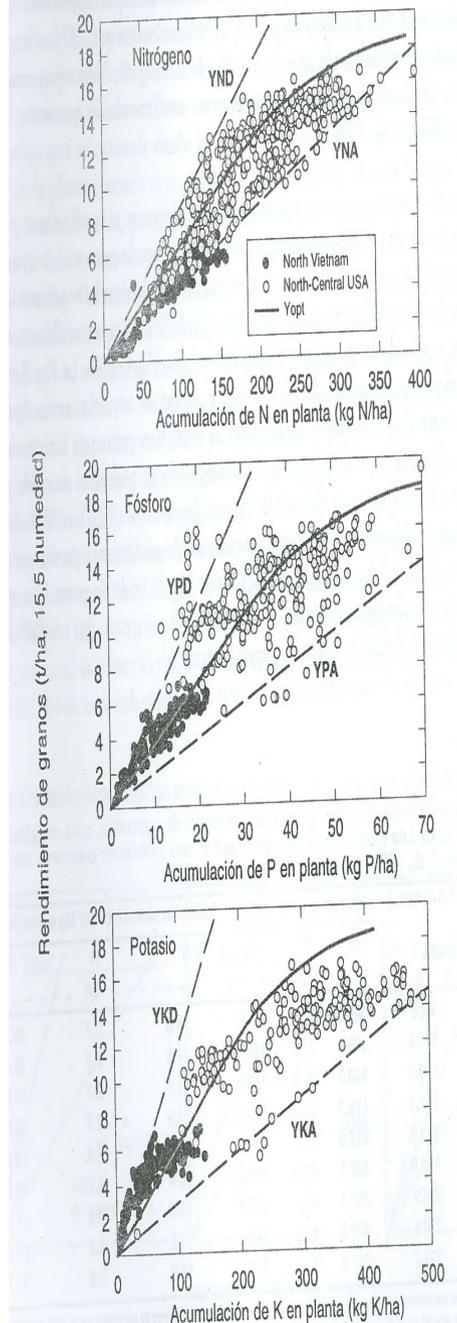
La Fig. 4c muestra una curva óptima de la relación entre el rendimiento y la absorción de K ( $Y_{opt}$ ) para un ambiente particular con un determinado potencial de rendimiento ( $Y_{max}$ ) genético-climático. Esta curva fue obtenida optimizando simultáneamente la eficiencia interna de utilización de los tres macronutrientes (N, P, K) para alcanzar diferentes niveles de rendimiento, siguiendo los principios demostrados en las Fig. 4a y 4b. La Fig. 5 y la Tabla 4 muestran ejemplos preliminares de tales rangos y curvas de requerimientos óptimos de nutrientes para maíz. Requerimientos balanceados de nutrientes para maíz fueron simulados para diferentes objetivos de rendimiento en una localidad con potencial de rinde según el clima ( $Y_{max}$ ) de 18,8 t/ha (Este de Nebraska). Para rendimientos de 13 t/ha (70 % del  $Y_{max}$ ) los requerimientos de absorción de nutrientes por unidad de rendimiento permanecían constantes en 14,8 kg de N, 2,7 kg de P, y 15,8 kg de K por Mg de rinde de grano. Sin embargo, con rendimientos aproximándose a  $Y_{max}$ , se requieren más nutrientes por unidad de rinde. Por lo tanto, la sintonía fina de la nutrición vegetal balanceada se vuelve cada vez más importante bajo situaciones de alto rendimiento para evitar situaciones de sub o sobre utilización de nutrientes.

Tabla 4. Simulación de requerimientos óptimos de absorción de nutrientes para maíz producción en el este de Nebraska. Los valores mostrados se basan en una calibración preliminar del modelo QUEFTS (Janssen et al., 1990; Witt et al., 1999) en esta región.

Rinde de grano (15.5 % hum.)		Absorción de nutrientes			Nutrientes absorbidos por Mg de rendimiento		
t/ha	bu/acre	N	P	K	N	P	K
		kg/ha			kg/t		
6000	95.6	88.8	16.3	94.9	14.8	2.7	15.8
8000	127.4	118.4	21.8	126.5	14.8	2.7	15.8
10000	159.3	148.0	27.2	158.2	14.8	2.7	15.8
12000	191.1	178.3	32.8	190.6	14.9	2.7	15.9
14000	223.0	212.8	39.1	227.4	15.2	2.8	16.2
15000	238.9	237.1	43.6	253.3	15.8	2.9	16.9
16000	254.9	265.1	48.7	283.4	16.6	3.0	17.7
17000	270.8	299.6	55.0	320.1	17.6	3.2	18.8
18000	286.7	347.9	63.9	371.8	19.3	3.6	20.7

<sup>1</sup> Basados en la simulación del crecimiento del cultivo y rendimientos promedios obtenidos por ganadores de competencias de rinde de maíz bajo riego en los últimos cinco años. se asumió un potencial de rendimiento climático (genético) de 18.8. Debido a temperaturas más frescas y un período de crecimiento más largo, el potencial de rendimiento es probablemente mayor a 20 Mg ha<sup>-1</sup> en las regiones más al este del Cinturón Maicero.

Figura 5. Relación entre el rendimiento de grano y acumulación de N, P Y K en la materia seca total aérea de la planta a la madurez del maíz. Los datos recogidos de experimentos de campo fueron utilizados para estimar las líneas límite (líneas de puntos) de máxima dilución de nutrientes (YND, YPD, YKD) Y la máxima acumulación de nutrientes (YNA, YPA, YKA). La línea sólida (Yopt) muestra la curva de requerimientos óptimos de nutrientes según la simulación del modelo QUEFTS para una situación de nutrición balanceada en la planta para un ambiente con potencial climático de producción de 18,8 Vha.



Tales gráficos también ofrecen oportunidades para el diagnóstico. Por ejemplo, en localidades de campo, de Vietnam del norte, el N absorbido por unidad de rendimiento de maíz estaba por debajo de la curva óptima, mientras que los valores de K estaban por arriba de esa línea en los mismos sitios (Fig. 5). La deficiencia de potasio era la principal causa de una sub-óptima eficiencia de uso interno de N, porque; la mayoría de los suelos en esos sitios eran bajos en K. En contraste, datos de K para el norte y centro de los EE.UU. incluyen tanto situaciones de deficiencia de K (sobre la curva) como de acumulación de K en la planta (debajo de la curva). En los últimos casos, el K no era un factor limitante para el rendimiento, es decir, la cantidad real de K tomado por la planta no estuvo relacionada proporcionalmente con el aumento de rendimiento porque ocurrieron otros factores de estrés durante el llenado del grano y afectaron los rendimientos. Estos factores pueden ser el clima que afecta la polinización y el llenado del grano, pero también un aporte insuficiente de N y de agua, densidad y espaciado de plantas debajo del óptimo, o incidencia de enfermedades.

La ventaja principal de la estrategia descrito es que proporciona una plataforma genérica para modelar los requerimientos de varios macronutrientes simultáneamente en diferentes ambientes. Witt et al. (1999) demostraron cómo este método puede utilizarse para desarrollar familias de curvas de rendimiento y acumulación óptima de NPK para arroz cultivado en ambientes con diferente potencial de rendimiento climático a través del Asia. Ejercicios similares deberían realizarse para maíz y soja cultivados en diferentes regiones. Los principales requisitos para esto son (i) comprensión de la variación geográfica del rendimiento potencial a lo largo de una .región y (ii) la colección exacta de datos de rendimiento y absorción de nutrientes a través de una amplia variedad de suelos y condiciones del cultivo usando una metodología de muestreo estandarizada.

## **Implicancias para el manejo del potasio**

### ***Mejora del Germoplasma***

Los promedios de rendimiento de maíz en EE. UU. se aproximan a 9 t/ha, pero los productores progresistas ya cosechan rutinariamente entre 12 y 14 t/ha, es decir, ya están entrando en el rango de requerimientos de cultivo aumentados de nutrientes por unidad de rinde (Tabla 4). Cómo puede la mejora genética contribuir al manejo futuro del Ken sistemas con maíz? Una primer elección obvia podría ser la selección de híbridos con un potencial genético de rinde superior, que extendería el rango lineal de la relación entre el rendimiento y acumulación de nutrientes (Fig. 5). Sin embargo, existe por evidencia convincente que el potencial de rendimiento haya aumentado significativamente en los últimos 30 años, aunque la mejora del germoplasma ha resultado en una mayor estabilidad de los rendimientos debido a un aumento sustancial en la tolerancia a factores bióticos y ab,ióticos de estrés (Duvick y Cassman, 1999; Tollenaar y Wu, 1999). Parece cuestionable que puedan alcanzarse en un futuro cercano descubrimientos científicos de magnitud sobre características complejas tales como el potencial de rendimiento, debido a que es difícil aumentar más aún el índice de

cosecha. En su lugar, la labor de los semilleros privados continúa enfatizando en la mejora de la estabilidad de los rendimientos y la tolerancia al estrés a través de un proceso de selección multisitio acoplado con estrategias moleculares para incorporar rasgos específicos para resistencia a insectos y herbicidas, y calidad para uso final.

Los mejoradores probablemente puedan hacer contribuciones trabajando los híbridos «de alto-K» con una regulación celular superior de los sistemas de transporte de K (Leigh, 2001) o desarrollando híbridos que posean un hábito de crecimiento y distribución espacial de raíces sean más congruente con la dinámica de liberación y distribución espacial de nutrientes en el suelo (Allan et al, 1999). Sin embargo, las razones reales de las diferencias de híbridos y su control genético deben clarificarse, un proceso que tomará más tiempo. Los híbridos eficientes en el uso de potasio parecen poder construir rápidamente un gran depósito vacuolar de K durante el crecimiento inicial y la arquitectura de su sistema radicular parece permitir una mayor exploración del K del suelo. Tales híbridos parecen funcionar mejor bajo condiciones de bajo y alto suministro de K, que pueden ser particularmente atractivas para sistemas bajo siembra directa o labranza en franjas, donde la estratificación de nutrientes se ha convertido en un problema. Así, la elección del híbrido puede convertirse en un importante componente de las futuras estrategias de manejo del K.

#### *Manejo del Fertilizante y del Cultivo*

Las recomendaciones de manejo del P y K siguen comúnmente los conceptos de «suficiencia», «reconstrucción y mantenimiento» Ó «reposición de las cantidades extraídas por el cultivo» (Hergert et al., 1997). Aunque los niveles críticos de análisis de suelos y las recomendaciones de fertilizantes potásicos varían entre los distintos estados del cinturón maicero, muchos se basan en teorías científicas desarrolladas hace aproximadamente 50 años (Bray, 1954). Las recomendaciones actuales de fertilización son el resultado de investigaciones de correlación y calibración de muchos años en varios sitios. En la mayoría de los estados, estas recomendaciones continúan funcionando para condiciones promedio, pero se presentan problemas debido a cambios en el manejo del cultivo, del germoplasma, y de niveles absolutos de rendimiento. La clave del problema teórico de todos los conceptos de recomendación usados actualmente es su incapacidad de predecir el suministro de nutrientes del suelo, la eficiencia del fertilizante, la acumulación en la planta, y sus efectos sobre el rendimiento en términos absolutos. La amplia variación en la interpretación de los análisis de suelos y la relativa insensibilidad de las recomendaciones actuales para los diferentes tipos de suelos y prácticas de manejo del cultivo también han causado la preocupación de que la estrategia tradicional de correlación y calibración no puede realizarse al mismo tiempo que los avances en los métodos de análisis de suelo y la intensificación de los sistemas de cultivo (Hergert et al., 1997). Por lo tanto, las vías para una mejora deberían incluir (i) poner al día los conceptos y recomendaciones existentes, y (ii) desarrollar gradualmente un concepto nuevo, genérico para el manejo de N, P y K basado en la comprensión cuantitativa del potencial de rendimiento, del rendimiento en función del nutriente absorbido, y del nutriente absorbido en función de la oferta (suelo + fertilizante).

Cuando se utiliza el concepto de «suficiencia», las categorías existentes de los análisis de suelo para K pueden necesitar ajustarse hacia arriba o hacerse más específicas para los distintos sistemas de labranza que tomen en cuenta la estratificación del K en el suelo como resultado de las diferentes prácticas de labranza. Por ejemplo, datos preliminares de Sourh Dakota sugieren que el rango crítico de análisis de K en el suelo pueden necesitar aumentarse desde 140 a 150 ppm (Gerwing et al., 2001). Además, deben conducirse investigaciones para verificar si los procedimientos actuales de muestreo y extractantes de suelo utilizados son apropiados para situaciones específicas tales como siembra directa (Allan et al., 1999). Entre los métodos prometedores de análisis de suelo, el tetrafenilboro-K de sodio (Cox et al., 1996) ha recibido recientemente mucha atención, pero resta saber si este método puede incorporarse en los laboratorios comerciales de análisis de suelo en un futuro cercano. Cuando se considera la remoción del cultivo de un determinado objetivo de rendimiento para tomar decisiones de uso de fertilizantes potásicos, el uso de un único coeficiente de remoción del cultivo puede conducir al uso erróneo del nutriente y a una baja eficiencia debido a que esos números tienden a sobrestimar los verdaderos requerimientos óptimos de nutrientes a los niveles de rinde que están por debajo del 70% del rendimiento potencial climático y genético. En contraste, usar el mismo número puede ser insuficiente para alcanzar los rendimientos que están cerca del nivel óptimo, es decir, por arriba del 70% del potencial de rendimiento. Estrategias cuantitativas que toman en cuenta simultáneamente el rendimiento potencial y las interacciones entre N, P, Y K para estimar los requerimientos del cultivo para cada uno de ellos son probablemente más precisos, particularmente con altos niveles de rendimiento (Witt et al., 1999).

Cualquiera sea la estrategia usada, las futuras recomendaciones de fertilización deben ser más genéricas y más específicas al mismo tiempo. Genéricas por estar basadas en principios generales cuantitativos de nutrición vegetal, y específicos por la sintonía fina del manejo de K que contemple los principales determinantes del suministro y de la demanda de K para un sistema particular de producción. Los refinamientos pueden realizarse a diferentes niveles de complejidad, de modo tal que una recomendación general pueda dividirse y analizarse en recomendaciones específicas más útiles y detalladas. La zonificación agroecológica y los modelos de simulación de cultivos debería desempeñar un rol principal en la elaboración de estos refinamientos. Para los sistemas de cultivo de maíz y soja en el cinturón maicero, eso implica principalmente ajustar muy bien las recomendaciones para (i) tipos de suelos y zonas agroecológicas con diferente potencial de rendimiento, (ii) diferentes grupos de rasgos dominantes de la planta que afectan la eficiencia externa e interna del uso de K (no híbridos individuales), y (iii) diferencias claves en tecnologías de manejo del cultivo tales como rotación de cultivos, labranzas y densidad de siembra. Niveles simples de una recomendación deberían basarse así en condiciones estándares que tomen en cuenta los principales factores que gobiernan la respuesta del cultivo al nutriente de interés (por Ej. Un híbrido alto de maíz con tallos fuertes sembrados en mayo bajo siembra directa en un suelo franco limoso profundo del este de Nebraska).

Se han realizado intentos para modelar el ciclo completo del K en el suelo y en la planta (Greenwood y Karpinets, 1997) y aplicar tal modelo para estimar los requerimientos de fertilizantes. Sin embargo, los modelos basados en procesos, todavía tienen mucho por

hacer antes de convertirse en herramientas de manejo validadas y factibles de usar. En el corto plazo una nueva estrategia de manejo de fertilizantes debe centrarse en resolver empíricamente la ecuación general:

$$Y_a = f(Y_m, U_1, U_2, \dots, U_x)$$

$$F_x = (U_x - I_x) / R_x$$

$$F_{\%} = (U_{\%} - I_{\%}) / R_{\%}$$

donde  $Y_m$  = potencial de rendimiento climático y genético,  $Y_a$  = rendimiento alcanzable con limitación de nutrientes,  $F_x$  = cantidad del fertilizante,  $U_x$  = cantidad de nutriente en la planta,  $I_x$  = suministro de fuentes nativas de nutrientes,  $R_x$  = fracción del nutriente recuperado en la planta, y 1 a x indica a cada uno de los nutrientes esenciales de la planta. Modelos robustos, empíricos, del tipo step-wise tales como QUEFTS Qanssen et al., 1990) (Smaling y Janssen, 1993) nos permite estimar los requerimientos de fertilizantes de N, P, Y K usando los mismos conceptos teóricos, es decir, en función del (i) potencial de rendimiento climático, (ii) de la relación entre el rendimiento en grano y la acumulación N, P, Y K en la planta, (iii) del potencial de suministro de las fuentes nativas de N, P, Y K, Y (iv) la eficiencia de recuperación del fertilizante N, P, Y K.

En esta estrategia (i) puede estimarse usando un modelo validado de simulación de cultivo, (ii) puede medirse usando un análisis de suelo o una estimación basada en el cultivo, y (iv) se ajusta generalmente a los tipos locales de suelo y condiciones de cultivo. Las estimaciones para (i) se pueden obtener de una relación genérica entre el rendimiento de grano y la acumulación de nutrientes obtenidas en base a una gran cantidad de datos de una amplia variedad de ambientes de producción para explicar las interacciones de nutrientes y las diferencias en rendimiento potencial (Witt et al., 1999). Esta estrategia de modelado ha sido utilizada con éxito en el desarrollo de manejo específico de sitio de nutrientes de sistemas de arroz (Wang et al., 2001; Dobermann et al., 2002). Resta saber si también es ventajoso para los sistemas de maíz y soja en EE. UU. y otras regiones.

## Conclusiones

El maíz y la soja pueden responder al K en suelos que según los análisis de suelo tienen niveles bajos e incluso altos en K. La « deficiencia escondida de K » es probablemente más extensa que lo supuesto actualmente. Los híbridos ó variedades difieren en sus respuestas al suministro de K, pero las causas de tales diferencias no se comprenden lo suficientemente bien como para proporcionar una base sólida para el mejoramiento del germoplasma. Aún si pudiera criarse un germoplasma altamente eficiente en el uso de K, el manejo de los sistemas de cultivo intensivos debería centrarse en el sostenimiento de altos niveles de nutrientes en el suelo como base para sincronizarlo con la máxima tasa de absorción de K, que ocurre durante cortos períodos de crecimiento. Los requerimientos internos de K del cultivo aumentan con

el aumento del nivel de rendimiento en relación al potencial de rendimiento climático y genético particular. Como los rendimientos de grano necesita aumentar mas allá de los niveles actuales, cercanos al 50% del potencial de rendimiento climático y genético, la necesidad de ajustar aún más la nutrición vegetal aumentará consecuentemente. El potasio parece des-empeñar un papel particularmente importante en esto, pero las mejoras deben ir junto con las estrategias mejoradas para que el manejo del N basado en el cultivo para alcanzar niveles óptimos de utilización interna del nutriente en la planta. La sintonía fina de las recomendaciones de nutrientes es difícil de alcanzar con las aproximaciones empíricas actualmente en uso. Los futuros esfuerzos deben por lo tanto centrarse en una comprensión más cuantitativa del potencial de rendimiento, los requerimientos del cultivo, y el suministro de nutrientes del suelo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Allan, D.L., G.w. Rehm, and J.L. Oldham. 1999. Root system interactions with potassium management in corn p. 111-116. *In* D. Osterhuis and G.A. Berkowitz (ed.) *Frontiers in potassium nutrition: New perspectives on the effects of potassium on crop physiology*. PPI/PPIC, CSSA, Norcross GA.
- Asher, C.J., and P.G. Ozanne. 1967. Growth and potassium *content* of plants in solution cultures maintained at constant potassium concentrations. *Soil Sci.* 103:155-161.
- Bednarz, C.W., and D.M. Oosterhuis. 1999. Physiological changes during the development of potassium deficiency. p. 83-86. *In* D. Osterhuis and G.J. Berkowitz (ed.) *Frontiers in potassium nutrition: New perspectives on the effects of potassium on crop physiology*. PPI/PPIC, CSSA, Norcross GA.
- Bergmann, W. 1992. *Nutritional disorders of cultivated plants - Development, visual and analytical diagnosis*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart/New York.
- Bray, R.H. 1954. A nutrient mobility concept of soil-plant relationships. *Soil Sci.* 78:9-22.
- Collins, M., and S.H. Duke. 1981. Influence of potassium-fertilization rate and form on photosynthesis and N<sub>2</sub> fixation of alfalfa. *Crop Sci.* 21 :481-485.
- Dobermann, A., and K.G. Cassman. 2002. Plant nutrient management for sustaining productivity gains in intensive grain production systems of Asia and the United States. *Plant Soil* (in press)
- Dobermann, A., C. Witt, D. Dawe, G.C. Gines, R. Nagarajan, S. Satawathananont, T.T. Son, P.S. Tan, G.H. Wang, N.V. Chien, V.T.K. Thoa, C.V. Phung, P. Stalin, P. Muthukrishnan, V. Ravi, M. Babu, S. Chatuporn, M. Kongchum, a. Sun, R. Fu, G.C. Simbahan, and MAA. Adviento. 2002. Site-specific nutrient management for intensive rice cropping systems in Asia. *Field Crops Res.* (in press)
- Duvick; D.N., and K.G. Cassman. 1999. Post-green revolution trends in yield potential of temperate maize in the North-Central United States. *Crop Sci.* 39:1622-1630.
- Gerwing, J., R.H. Gelderman, and A. Bly. 2001. Investigating potassium deficiencies in corn *Better Crops* 85:12-13.
- Greenwood, D.J., and T.V. Karpinets. 1997. Dynamic model *for the effects* of K-fertilizer on crop growth, K-uptake and soil-K in arable cropping. 1. Description of the model.

- Soil Use Manag. 13:178-183.
- Grundon, N.J., A.D. Robson, M.J. Lambert, and K. Snowball. 1997. Nutrient deficiency and toxicity symptoms. p. 37-51. *In* Plant analysis: an interpretation manual. Vol.2, CSIRO, Collingwood.
- Hanway, J.J. 1962. Corn growth and composition in relation to soil fertility. *Agron. J.* 54:217-222.
- Hargrove, W.L. 1985. Influence of tillage on nutrient uptake of corn *Agron. J.* 77:763-768.
- Hergert, G.W., W.L. Pan, D.R Huggins, J.H. Grove, and T.R Peck. 1997. Adequacy of current fertilizer recommendations for site-specific management. p. 283-300. *In* The site-specific management for agricultural systems. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.
- Janssen, B.H., F.C.T. Guiking, D. Van der Eijk, E.M.A. Smaling, J. Wolf, and H. van Reuler. 1990. A system for Quantitative Evaluation of the Fertility of Tropical Soils (QUEFTS). *Geoderma* 46:299-318.
- Karlen, D.L., R.L. Flannery, and E.J. Sadler. 1988. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn *Agron. J.* 80:232-242.
- Karlen, D.L., E.J. Sadler, and C.R Campo 1987. Dry matter, nitrogen, phosphorus, and potassium accumulation rates by corn on Norfolk loamy sand. *Agron. J.* 79:649-656.
- Läuchli, A., and R Pflüger. 1978. Potassium transport through plant cell membranes and metabolic role of potassium in plants. p. 111-163. *In* Potassium research - review and trends. International Potash Institute, Bern.
- Leigh, RA. 1989. Potassium concentrations in whole plants and cells in relation to growth. p. 117-126. *In* Methods of K-research in-plants. International Potash Institute, Bern.
- Leigh, RA. 2001. Potassium homeostasis and membrane transport *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 164:193-198.
- Leigh, RA., and A.E. Johnston. 1983. Potassium concentrations in the dry matter and tissue water of field-grown spring barley and their relationship to grain yield. *J. Agric. Sci.* 101 : 675-685.
- Leigh, RA., and RG. Wyn Jones. 1984. A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell. *New Phytol.* 97:1-13.
- Mackay, A.D., E.J. Kladviko, S.A. Barber, and D.R Griffith. 1987. Phosphorus and potassium uptake by corn in conservation tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51 :970-974.
- Maples, R.L., W.R.Jr. Thompson, and J. Varvil. 1989. Potassium deficiency in cotton takes on a new look. *Better Crops with Plant Food* 73:6-9.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2 ed. Academic Press, San Diego.
- Olson, RA., K.D. Frank, P.H. Grabouski, and G.W. Rehm. 1982. Economic and agronomic impacts of varied philosophies of soil testing. *Agron. J.* 74:492-499.
- Oosterhuis, D.M. 1999. Foliar potassium fertilization of cotton. p. 87-99. *In* D. Oosterhuis and G.A. Berkowitz (ed.) *Frontiers in potassium nutrition: New perspectives on the effects of potassium on crop physiology*. PPI/PPIC, CSSA, Norcross GA.
- Padgett, M., D. Newton, R Penn, and C. Sandretto. 2000. Production practices for major crops in U.S. agriculture, 1990-97. Statistical bulletin no. 969. USDA, ERS, Washington, D.C.
- Pflüger, R, and R Wiedemann. 1977. Der Einfluss monovalenter Kationen auf die

- Nitratreduktion von *Spinacia oleracea* L. Z. Pflanzenphysiol. 85:125-133.
- Pissarek, H.P. 1973. Zur Entwicklung der Kalium-Mangelsymptome von Sommerraps. Z. Pflanzenernaehr. Bodenk. 136:1-19.
- Sayre, J.D. 1948. Mineral accumulation in corn. Plant Physiol. 23:267-281.
- Smaling, E.M.A., and B.H. Janssen. 1993. Calibration of OUEFTS, a model predicting nutrient uptake and yields from chemical soil fertility indices. Geoderma 59:21-44.
- Tollenaar, M.; and J. WU. 1999. Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerance. Crop Sci. 39:1597-1604.
- Uri, N.D. 1998. Environmental considerations in the fertilizer use decision. Environ. Geol. 34:103-110.
- van Keulen, H. 1986. Crop yield and nutrient requirements. p. 155-181. In H. van Keulen and J. Wolf (ed.) Modelling of agricultural production: weather, soils and crops. Pudoc, Wageningen.
- van Keulen, H., and H.D.J. Van Heemst. 1982. Crop response to the supply of macronutrients. Agric. Res. Rept. 916. Pudoc, Wageningen.
- Vyn, T.J., and K.J. Janovicek. 2001. Potassium placement and tillage system effects on corn response following long-term no till. Agron. J. 93:487-495.
- Walker, D.J., C.A. Black, and A.J. Miller. 1998. Role of cytosolic potassium and pH in the growth of barley roots. Plant Physiol. 118:957-964.
- Walker, D.J., RA Leigh, and A.J. Miller. 1996. Potassium homeostasis in vacuolate plant cells. Proc. Natl. Academy of Science 93:10510-10514.
- Wang, G.H., A. Dobermann, C. Witt, O.Z. Sun, and R.X. Fu. 2001. Performance of site-specific nutrient management for irrigated rice in southeast China. Agron. J. 93:869-878.
- Weir, B.L., T.A. Kerby, and B.A. Roberts. 1988. Potassium deficiency syndrome of cotton. Potash Rev. Subj. 8:1-2.
- Witt, C., A. Dobermann, S. Abdulrachman, H.C. Gines, G.H. Wang, R. Nagarajan, S. Satawathananont, 1.1. Son, P.S. Tan, L.V. Tiem, G.C. Simbahan, and D.C. Oik. 1999. Internal nutrient efficiencies of irrigated lowland rice in tropical and subtropical Asia. Field Crops Res. 63:113-138.

# REQUERIMIENTOS DE NUTRIENTES y ESTRATEGIAS ADECUADAS PARA LA FERTILIZACIÓN DE CANOLA (*Brassica napus*, L.)

Dr. Marcus Ross

K+S Kali GmbH, Apdo. 102029,34111 Kassel Alemania, marcus.ross@kali-gmbh.com

## RESUMEN

*El área de cultivo de Canola (Brassica napus L.) en Argentina se caracteriza por una continua reducción en los últimos diez años, lo cual se debe principalmente a la obtención de rendimientos por debajo del promedio debido a la implantación de técnicas de producción insuficientes. Si comparamos la superficie plantada de Soja y Girasol con la de este cultivo (9.000 ha), este último deberá ser considerado como un cultivo oleaginoso de poca importancia.*

*Para poder analizar el potencial y el desarrollo futuro de Canola en Argentina deben considerarse algunos factores:*

- . Obtención de nuevas variedades de mayor rendimiento con una buena resistencia a enfermedades*
- . Inclusión de nuevas técnicas de siembra, fertilización y tecnología de post-cosecha, donde se han logrado importantes avances en la última década*
- . Suelos y condiciones climáticas sumamente favorables en Argentina para la producción de cultivo*
- . Aunque es de esperar una cosecha record de Soja este año, el consumo mundial de los diez cultivos oleaginosos más importantes excederá la producción en aproximadamente 4 millones de toneladas.*

*El cultivo de Canola no sólo debe analizarse por los beneficios económicos puntuales del mismo dentro de la rotación de cultivos anuales, sino también por sus beneficios como cultivo antecesor.*

*En una rotación Canola- Trigo, el incremento promedio de rendimiento de este último se sitúa aproximadamente en 0,85 t (Cristen y Sieling 1998). Analizando una serie de ensayos efectuados durante los años 1999 y 2000 en Alemania, cuyo objetivo era definir incrementos en los rendimientos de Trigo en esquemas donde Canola era el cultivo antecesor, se obtuvieron rendimientos adicionales de Trigo de 1,35 t/ha y 1,46 t/ha, respectivamente (Honermeier y Gaudchau, 2001).*

*Considerando algunos elementos en una rotación Canola- Trigo, como labranza mínima, menor aporte de fertilizantes y fungicidas e incrementos y los rendimientos de Trigo, se obtienen ventajas económicas comprendidas entre los 100-150 U\$S por ha. Este planteo es válido para altos niveles de producción.*

*Como el rendimiento final de este cultivo se halla en estrecha relación con factores externos como clima, fertilidad, variedades, etc.; los niveles de producción de Canola*

varían considerablemente de país a país. Los altos niveles del rendimiento obtenido en los países europeos tienen su base en un nivel de producción generalmente alto que incluye la introducción y utilización de nuevas variedades, elevada fertilización y condiciones climáticas favorables para el cultivo.

Los requerimientos nutritivos de Canola dependen fundamentalmente de la variedad, del tipo (invierno / verano), de la producción de materia seca y del suministro de agua. Ensayos relacionados con la absorción de nutrientes y evolución de materia seca alcanzaron una alta tasa de incrementos de esta última situándose en valores de 2-3 t/ha en el otoño (Orlovius, 1984). Dicha producción de materia seca requiere una considerable cantidad de nutrientes, absorbiéndose un 25% de los mismos antes del invierno y un 50% en el periodo comprendido entre el crecimiento de los tallos y la floración.

Debido a la relación entre disponibilidad de nutrientes y el crecimiento vegetativo, floración y fructificación, se debe contar con una dotación suficiente de los mismos en el suelo. El patrón de absorción responde a niveles de extracción elevados en estadios tempranos del cultivo (Primavera). Como dato orientativo se puede indicar que el Potasio alcanza niveles de absorción de 3 a 7 Kg. K<sub>2</sub>O/ha/día, teniendo una demanda total en el ciclo de 300-400 kg/ha. Esto demuestra la importancia de dicho elemento en la producción de este cultivo.

## **NUTRIENT REQUERIMENT AND FERTILIZER STRATEGIES FOR CANOLA (Brassica napus, L.)**

*The area of Canola crop production (Brassica napus, L.) in Argentina is characterized by a continuous reduction in the last ten years. This was mainly due to yields below average caused by insufficient implementation of modern production technique to enable the expression of the crop's maximum potential. When comparing it with the planted area of Soya and Sunflower, Canola (9.000 Ha) has to be considered as an oleaginous crop of little importance in Argentina.*

*To analyse the potential and the future development of Canola in the Argentina some factors should be considered:*

- \* Existence of new high yielding varieties with a good disease resistance*
- \* Adoption of planting techniques, fertilization and post-crop technology, where important advances have been achieved in the last decade.*
- \* Soils and extremely favourable climatic conditions in Argentina for the crop production.*
  - \* Although being expected a crop record of Soya this year, the world consumption of the ten most important oilseeds will exceed the production of approximately 4 million tons.*

*The cultivation of Canola should also be analysed by the economic benefits as preceding crop in a annual crop rotation.*

*In a Canola-Wheat rotation the average yield increase has been approximately 0,85t in the year 2000 (Cristen and Sieling 1998). Analysing a series of trials carried out*

*the years 1999 and 2000 in Germany whose objective was to define the response in the wheat yields where Canola was the preceding crop additional yields of wheat of 1,35 t and 1,46 t/ha, respectively were obtained.*

*Considering some elements in a Canola-wheat rotation, as minimum tillage, lower fertilizer and fungicide requirement and the additional yield of Wheat, an economic advantage of 100-150 \$US were obtained (valid for high production level).*

*As yields of this crop is in close relation to external factors such as climate, fertility, varieties, etc. the production level of Canola varies considerably from country to country. The high yield level obtained in the European countries based on the generally high production level including the introduction and use of new varieties, high fertilization and favourable climatic conditions for this crop.*

*The nutrient requirement of Canola depends fundamentally on the variety, on the crop type (winter / summer), on the production of dry matter and on the water supply. Trials related to the nutrient absorption and production of dry matter showed a dry matter production of 2-3 t/ha already before vegetative rest. This dry matter production requires a considerable quantity of nutrients, of which 25 % is absorbed before vegetative rest and of which 50% is required between stem elongation and flowering.*

*Due to the relation between availability of nutrients and the vegetative growth, flowering and fruit formation, a sufficient application of required nutrients should be given to the soil. The absorption rate reaches its maximum at spring at the early stage of crop growth. The potassium absorption reaches levels of 3 to 7 Kg. K<sub>2</sub>O/ha/day, resulting in a total demand of 300-400 kg/ha per crop cycle.*

## **Introducción**

El área de cultivo de Canola (*Brassica napus*, L.) en Argentina se caracteriza por una continua reducción en los últimos diez años, lo cual se debe principalmente, a la obtención de rendimientos por debajo del promedio, debido a la implantación de técnicas de producción insuficientes. Si comparamos la superficie plantada de Soja y Girasol con la de este cultivo (9.000 Ha) este último deberá ser considerado como un cultivo oleaginoso de poca importancia.

Para poder analizar el potencial y el desarrollo futuro de Canola en Argentina deben considerarse algunos factores:

- \* Obtención de nuevas variedades de mayor rendimiento con una buena resistencia a enfermedades
- \* Inclusión de nuevas técnicas de siembra, fertilización y tecnología de post-cosecha, donde se han logrado importantes avances en la última década
- \* Suelos y condiciones climáticas sumamente favorables en Argentina para la producción de cultivo
- \* Aunque es de esperar una cosecha record de Soja este año, el consumo mundial de los diez cultivos oleaginosos más importantes excederá la producción en aproximadamente 4 millones de toneladas.

## Aspectos agronómicos en la producción de Canola

El cultivo de Canola no sólo debe analizarse por los beneficios económicos puntuales del mismo dentro de la rotación de cultivos anuales, sino también por sus beneficios como cultivo antecesor.

En una rotación Canola-Trigo, el incremento promedio de rendimiento de este último se sitúa aproximadamente en 0,85 t (Cristen y Sieling 1998). Analizando una serie de ensayos efectuados durante los años 1999 y 2000 en Alemania, cuyo objetivo era definir incrementos en los rendimientos de Trigo en esquemas donde Canola era el cultivo antecesor, se obtuvieron rendimientos adicionales de Trigo de 1,35 t/ha y 1,46 t/ha, respectivamente (Honermeier y Gaudchau, 2001).

Considerando algunos elementos en una rotación Canola-Trigo, como labranza mínima, menor aporte de fertilizantes y fungicidas e incrementos y los rendimientos de Trigo, se obtienen ventajas económicas comprendidas entre los 100-150 \$US por Ha. Este planteo es válido para altos niveles de producción.

El objetivo en el cultivo de Canola es un rendimiento de grano entre 3-5 t por t/ha (o en el futuro todavía más). El potencial de rendimiento continúa aumentando por creación de nuevas variedades e híbridos, pero este proceso debe ir acompañado por sistemas aptos de siembra, labranza y, particularmente, fertilización y protección fitosanitaria. No hay duda de que no se puede garantizar el éxito en la producción de cultivos con un cierto número de factores, pero como mínimo se pueden crear las condiciones adecuadas a partir de una serie de medidas para que el cultivo pueda explotar su potencial genético a gran escala. A continuación se presentan unas notas prácticas respecto a la fertilización de Canola.

### *Requerimiento al suelo*

La Canola exige condiciones especiales impuestas por las condiciones del suelo. Un buen suministro de nutrientes requiere una liberación abundante y rápida de nutrientes del depósito de suelo (y también de los fertilizantes). Para obtener rendimientos altos es necesario que la fertilidad del suelo sea excelente y que se cumplan las condiciones siguientes:

- \* Un suelo superior profundo como gran depósito de nutrientes
- \* Una permeabilidad alta del subsuelo sin compactación
- \* Una estructura grumosa, particularmente en los primeros centímetros de la capa, para una buena germinación

Además de una labranza correcta, estas condiciones se logran a través de:

- \* Un pH óptimo del suelo, adaptado al tipo del suelo. Por ejemplo, para un suelo arenoso-arcilloso, un pH de 6.5 :f: 0.2
- \* Un suministro suficiente de materia orgánica para mantener una buena actividad microbiológica y mejorar la estructura física del suelo. Un abandono de estas condiciones

previas no sólo disminuye el retorno económico sino que también aumentan la susceptibilidad de las plantas contra el estrés climático (sequía, heladas) y contra las enfermedades.

- \* Como mínimo en intervalos de tres años, es necesario un análisis del suelo para determinar el requerimiento de calcáreo. Es aconsejable un pH de 6-7 para la prevención de la hernia de col y particularmente en rotaciones cortas. La cal debe aplicarse en el rastrojo del cultivo antecesor y debe incorporarse en la capa grumosa del suelo.

### ***Absorción de nutrientes***

Como el rendimiento final de este cultivo se halla en estrecha relación con factores externos como clima, fertilidad, variedades, etc.; los niveles de producción de Canola varían considerablemente de país a país. Los altos niveles del rendimiento obtenido en los países europeos tienen su base en un nivel de producción generalmente alto que incluye la introducción y utilización de nuevas variedades, elevada fertilización y condiciones climáticas favorables para el cultivo.

Los requerimientos nutritivos de canola dependen fundamentalmente de la variedad, del tipo (invierno / verano), de la producción de materia seca y del suministro de agua.

Ensayos relacionados con la absorción de nutrientes y evolución de materia seca alcanzaron una alta tasa de incrementos de esta última situándose en valores de 2-3t/h. en el otoño (Orlovius, 1984). Dicha producción de materia seca requiere una considerable cantidad de nutrientes, absorbiéndose un 25% de los mismos antes del invierno y un 50% en el periodo comprendido entre el crecimiento de los tallos y la floración.

La absorción absoluta de nutrientes antes del reposo vegetativo (invierno) es aproximadamente 50-100 kg/ha de nitrógeno y potasio, 20-40 kg/ha de calcio y fósforo y 10- 15 kg/ha de magnesio y azufre. (Baraclough 1989, Orlovius 1984, Merrien 1992, el Merrien et al. 1988, SCPA). Durante inviernos duros con periodos de temperaturas muy bajas, muchas hojas se dañan y caen. La caída de las hojas afecta la absorción total de nutrientes.

Debido a la relación entre disponibilidad de nutrientes y el crecimiento vegetativo, floración y fructificación, se debe contar con una dotación suficiente de los mismos en el suelo. El patrón de absorción responde a niveles de extracción elevados en estadios tempranos del cultivo (Primavera). Como dato orientativo se puede indicar que el Potasio alcanza niveles de absorción de 3 a 7 Kg.  $K_2O$ /ha/día, teniendo una demanda total en el ciclo de 300-400 kg/ha. Esto demuestra la importancia de dicho elemento en la producción de este cultivo.

El resto de los nutrientes es absorbido en cantidades constantes de la primavera hasta la madurez. La absorción total es considerablemente más alta comparada con los cereales con 250-300 kg/ha de N, 90-130 kg/ha de  $P_2O_5$ , 30-60 kg/ha de MgO. El requerimiento de azufre es muy alto y alcanza una cantidad absorbida de 60-80 kg/ha. Además, la demanda de micronutrientes es particularmente importante respecto al boro y manganeso y debe tenerse en cuenta para el establecimiento de un cultivo bien desarrollado.

El suministro de nutrientes es la condición previa para la formación de la materia seca, a la absorción de casi todos los nutrientes le sigue la producción de la materia seca. Las

células de las plantas jóvenes tienen que exhibir una concentración alta de nutrientes para empezar la activación de enzimas y los procesos del crecimiento.

La curva de la absorción de los diferentes nutrientes muestra diferencias considerables. Considerando que para el potasio y el fósforo el periodo de la absorción principal ya acaba casi al final de la floración, los elementos nitrógeno y azufre muestran una absorción continua.

La distribución de los nutrientes en los diversos órganos de la planta depende de las distintas funciones fisiológicas de los nutrientes. Ese proceso no ha de ser necesariamente idéntico a la distribución de la materia seca dentro de las diversas partes de la planta. Durante el periodo de crecimiento tiene lugar una translocación de nutrientes dentro de los órganos de la planta (Merrien et al. 1988). Después del reposo vegetativo hasta la fase de la floración, la cantidad principal de todos los nutrientes se halla en las hojas. Pero con continuo desarrollo de las plantas el flujo de los nutrientes muestra distintos destinos. Por ejemplo, cantidades crecientes de potasio son trasladadas de las hojas a los tallos y, en la fase de la madurez, aproximadamente 60% del potasio total se encuentra en los tallos mientras que sólo una cantidad pequeña de potasio está en los granos. También se almacenan cantidades considerables de N, P y S en los tallos que luego son trasladadas hacia las semillas (N, P) o permanecen en las vainas (Mg, S).

Entre la absorción total de nutrientes y la cantidad exportada del campo existe una diferencia considerable si la paja permanece en el campo. Particularmente para el potasio es obvio que la demanda es muy alta. No obstante, una cantidad alta de potasio debe estar disponible para no reducir el crecimiento de la planta y la producción de la materia seca.

### ***Fertilización con nitrógeno***

De la cantidad entera absorbida de nitrógeno para el cultivo de Canola (y que normalmente supera el requerimiento real) sólo una parte tiene que ser balanceada para la fertilización mineral porque una proporción considerable del nitrógeno se entrega por el depósito del suelo. A más tardar durante la cosecha del cultivo una parte de los nutrientes vuelve al suelo por los residuos (paja, raíces). En general se calcula un requerimiento de nitrógeno de aproximadamente 30- 33 kg N/t.

#### *Requerimiento de N antes del reposo vegetativo*

Se necesita, aproximadamente 60-80 kg de nitrógeno, ya sea del suelo o de la fertilización. La determinación de la proporción requerida de N puede estar basada en métodos de diagnóstico (análisis foliar, análisis del suelo) o en pautas generales establecidas por experiencia y ensayos del campo.

La cantidad de nitrógeno suministrado por el suelo es en muchos casos suficiente, particularmente cuando la Canola sigue a un cultivo que ha sido intensivamente fertilizado. Por otra parte, la cantidad de nitrógeno dada como una aplicación de arranque será en el rango de 30-40 kg/ha. Un exceso o un sobrante no se recomienda antes del reposo vegetativo

para evitar un desarrollo excesivo de las plantas y una posible lixiviación de nitrato.

### ***Requerimientos de N en la fase principal de crecimiento***

En general, se necesita suministrar alrededor de 250-280 kg/ha N del suelo y de la fertilización (válido para un rendimiento de 4 t/ha). Puede estimarse la cantidad de fertilizante necesaria según el requerimiento aproximado o según análisis foliar. Normalmente, la fertilización a partir del reposo vegetativo se basa en un análisis del suelo (N<sub>min</sub>) determinando la cantidad de nitrógeno disponible para las plantas. Suponiendo una demanda de 200 kg de N en la fase principal y teniendo en cuenta el nitrógeno residual en el suelo (normalmente 20-40 kg/ha) se debe suministrar la diferencia por fertilización nitrogenada. La cantidad se fracciona en una aplicación temprana de 120-140 kg/ha y una aplicación de 20-40 kg/ha a partir de la floración. A veces, el grado de coloración verde se usa para evaluar la cantidad de nitrógeno requerida. Como los síntomas de deficiencia de S son muy similares a la deficiencia de nitrógeno, este método no es muy fiable. La forma (mineral) del fertilizante nitrogenado tiene menor importancia en la práctica. La Canola prefiere nitrato pero, bajo condiciones normales, la nitrificación de amoníaco y urea es bastante rápida en la mayoría de los suelos (excepto antes del reposo vegetativo).

### ***Fertilización con potasio***

El requerimiento de potasio es muy alto comparado con los cereales. Recomendaciones de la fertilización con potasio se orientan principalmente (Alemania) al análisis del suelo y la cantidad del potasio disponible. El objetivo es lograr un suministro óptimo de nutrientes en el suelo que satisfaga los altos requerimientos de Canola, incluyendo las épocas con disponibilidad baja debido a sequía u otros factores de estrés. Sólo un suministro adecuado con los nutrientes básicos garantiza una buena eficiencia del nitrógeno. Si el nivel de potasio en el suelo es óptimo, la fertilización debe reponer los nutrientes. Esto se hace en base a la cantidad de nutrientes removidos por la cosecha y teniendo en cuenta los factores que afectan la disponibilidad de nutrientes en el suelo. En suelos limosos o arcillosos es posible aplicar el potasio de antemano para toda la rotación aplicándolo al cultivo de Canola que tiene los más altos requerimiento.

Si el contenido de nutrientes en el suelo está por debajo del nivel adecuado, debe aumentarse la fertilización potásica para alcanzar un nivel suficiente. Con contenidos muy elevados de potasio en el suelo se puede reducir o suspender la aplicación de potasio durante algunos años. En tal caso, es absolutamente imprescindible observar y controlar el desarrollo del contenido de nutrientes en el suelo.

Ensayos en macetas con potasio indican una clara respuesta en el rendimiento, debido a un aumento del número de granos, particularmente bajo fertilización nitrogenada intensiva. (Forster 1978). En ensayos de campo tales relaciones no son tan claras, porque la disponibilidad de potasio está influida por varios factores externos. En la literatura se encuentra muchas veces que, a pesar de una absorción alta de potasio, la respuesta al potasio es

comparativamente baja (Grant y Bailey 1993). Sin embargo, en estos ensayos el nivel del rendimiento fue comparativamente bajo (entre 1 y 2 t/ha) y se puede asumir una demanda más baja de potasio. En ensayos de campo la tendencia del rendimiento promedio obtenido en la práctica de los últimos años muestran claramente que se debe calcular la demanda de nutrientes a un nivel de 4 dha. Estos ensayos en suelos francos arenosos con niveles adecuados de potasio presentaron una respuesta del 5 a 10% con dosis crecientes hasta 300 kg K<sub>2</sub>O/ ha.

La dosis principal del fertilizante potásico debe aplicarse en primavera antes de empezar la fase principal de crecimiento (junto con el nitrógeno). En suelos livianos arenosos o en suelos con un nivel bajo de potasio, se recomienda aplicar un cuarto de la cantidad a la siembra para suplir la demanda de 50-100 kg/ha K<sub>2</sub>O antes del invierno.

El potasio tiene tareas funcionales en los sistemas enzimáticos que controlan el metabolismo de la fotosíntesis y la conversión de asimilatos a aceite. Este efecto del potasio puede observarse claramente en ensayos de maceta con diferentes variedades de Canola (Forster 1977). En un suelo arenoso pobre en potasio, crecientes dosis de potasio aumentaron el contenido de aceite en un 1.5% con un suministro adecuado de N, mientras que este efecto casi no fue visible en los tratamientos que mostraban deficiencias de nitrógeno.

### *Fertilización con magnesio*

La demanda de Canola al magnesio es subestimada frecuentemente. La cantidad principal de magnesio es absorbida en un periodo de cuatro semanas desde el principio del crecimiento de los tallos hasta la floración. Durante esta fase, se requiere una cantidad considerable de magnesio a corto plazo. La deficiencia de magnesio se produce sobre todo en suelos ácidos o en suelos arenosos ácidos. Aplicaciones abundantes de otros cationes como el amonio o el potasio pueden producir también escasez de magnesio.

En condiciones de nivel adecuado de magnesio en el suelo, la cantidad de magnesio que se extrae del campo debe ser restituida. Se calcula una extracción de 10 kg por t de granos. Se recomienda una aplicación de 30 a 40 kg MgO/ha (rendimiento de 4 t/ha) y una cantidad extra de 30-70 kg/ha MgO en suelos deficientes. Particularmente, en las áreas muy productivas, muchos ensayos exhiben el efecto beneficiario de una fertilización con magnesio, lo que no siempre se relaciona al nivel de magnesio en el suelo. Respuestas de 0.2 t/ha de granos se obtuvieron en el promedio de 25 ensayos del campo en áreas típicas con 50 kg/ha MgO en forma de Kieserita.

Sobre todo en cultivos intensivos, una aplicación foliar muestra muchas veces ventajas durante fases de baja disponibilidad de nutrientes. La aplicación foliar de magnesio y azufre ha demostrado ser una medida eficaz para superar dichas limitaciones nutritivas y satisfacer la demanda de magnesio y azufre a corto plazo, aun cuando el contenido de nutrientes era adecuado en el suelo. Como fertilizante foliar, se aplican quelatos de magnesio o Sal de Epsom (MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O). Ensayos de campo demostraron respuestas a 1.4 t/ha con aplicaciones foliares de Sal de Epsom (2 x 6.4 kg/ha en 400 l de agua).

## ***Fertilización con azufre***

Las especies de Brassica son muy conocidas como plantas con una demanda alta de azufre. Si no *se* aplican fertilizantes de azufre, son comunes los síntomas de deficiencia.

En un programa de investigación entre 1992 y 1995 *se* obtuvieron respuestas de rendimientos crecientes de 0.3-0.5 t/ha debido a la aplicación con azufre ( Matthey et al. 2000). Considerando el promedio de varios lugares una dosis de 20 a 30 kg/ha de S fue suficiente para conseguir el rendimiento óptimo. Sin embargo, en algunos lugares con deficiencia severas, las pérdidas del rendimiento fueron más altas y la cantidad necesaria para lograr rendimientos óptimos *se* elevó hasta 70 kg/ha de azufre. Fueron especialmente eficaces tratamientos con fertilizantes con azufre en presencia de dificultades de crecimiento de raíces, a causa de compactaciones en el suelo, o en suelos arenosos con precipitaciones importantes durante el reposo vegetativo que causaron lixiviación considerable de azufre.

El análisis del suelo puede ser una herramienta útil para predecir la necesidad de una fertilización con azufre. Usando el método Smin ( extractado con  $\text{CaCl}_2$ ) *se* encontró una respuesta con un valor menor de 60 kg Smin/ha en primavera, a una profundidad del suelo de 0 a 60 centímetros (Eslabón 2000).

Datos de análisis foliares muestran una buena correlación entre el contenido foliar de S y respuestas del rendimiento a la aplicación de azufre (Matthey 2000). Valores foliares de azufre mayores a 0.5-0.6% de S revelan un estado de suficiencia de las plantas y valores inferiores a 0.3% de S manifiestan una deficiencia significativa. En cultivos con deficiencia de azufre, la eficiencia de nitrógeno también es afectada (Schnug 1993).

El azufre principalmente es absorbido por las plantas en forma de sulfato. En el nitrógeno que contiene los S-fertilizantes el efecto ácido del amonio debe tenerse en cuenta. El potasio - y el sulfato de magnesio son sales neutras y no cambian el pH del suelo. El azufre elemental no puede ser absorbido por las plantas sin ser oxidado antes en forma de sulfato por las Thio-bacterias, lo que siempre lleva una reducción del pH en el suelo.

En las situaciones de-una deficiencia de azufre actual y síntomas de deficiencia ya visibles, una fertilización foliar con sulfato de amonio o magnesio (Sal Epsom) es muy eficaz. La ventaja principal está en la disponibilidad muy rápida del azufre vía hoja, reduciendo los síntomas de deficiencia en una semana después de la aplicación. Muchos ensayos han mostrado efectos considerables a través de la fertilización foliar con Sal de Epsom. En el promedio de 15 lugares el rendimiento aumentó a 0,35 t/ha. En los lugares donde había una deficiencia severa de azufre, la respuesta del rendimiento aumentó hasta 1.4 t/ha.

## BIBLIOGRAFÍA

- Barraclough, P. B. 1989. Root growth, macro-nutrient uptake dynamics and soil fertility requirements of a high-yielding winter oilseed rape crop. *Plant and Soil* 119, 59-70.
- Bloem, E. M.: Sulphur balance of agro-ecosystems with special regard to site hydrology and physical soil characteristic. *Landbauforschung Volkenrode, Sonderheft* 192 (1998)
- Christen, O., Sieling, K. 1998. Effect of interaction between oilseed rape and winter wheat as preceding crops and cultivar on the grain yield of winter wheat. *Pflanzenbauwissenschaften*, 2 (1), 16-19.
- Forster, H. 1977. Influence of N and K fertilizers on the quality and yield of oil from old and new varieties of rapeseed. In: *Fertilizer Use and Production of Carbohydrates and Lipids. Proceedings of the 13th Colloquium of the IPI in York/UK.*
- Forster, H. 1978. Einfluß der Stickstoff- und Kaliumernahrung auf Ölqualität und Kornertrag bei alten und neuen Rapssorten (*Brassica napus*, ssp. *oleifera*). *Kali-Briefe (Bünthof)* 14, (4), 249-254.
- Grant, C. A., Bailey, L. D. 1993. Fertility management in canola production. *Can. J. Plant Sci.* 73, 651-670.
- Holmes, M. R. J. 1980. *Nutrition of the oilseed rape crop.* Applied science publishers L TD London.
- Honermeier, B, Gaudschau, M. 2001. Vorfruchtwert von Winterraps; OFOP-Praxisinformationen.
- Link, A. 2000. Eignung der Smin-Bodenuntersuchung zur Ermittlung des S-Düngebedarfs. *VDLUFA-Schriftenreihe*, in press.
- Matthey, J., Sauermann, W. Finck, M. 2000. Schwefeldüngung zu Winterraps - heute Standard in Schleswig-Holstein. *VDLUFA-Schriftenreihe*, in press.
- Merrien, A. 1992. Winter oilseed rape - example Europe. In: *IFA World Fertilizer Use Manual, International Fertilizer Industry Association*, P. 215 - 219.
- Merrien, A., Palleau, J. P., Maisonneuve, C. 1988 Besoins en éléments minéraux du colza cultivé en France. In: *Physiologie et élaboration du rendement du colza d'hiver*, CETIOM, 75116 Paris.
- Orlovius, K. 1984. Kali-Düngungsversuche zu Winterraps. *Raps*, 2.
- Schnug, E., Haneklaus, S., Murphy, D. 1993. Impact of sulphur fertilization on fertilizer nitrogen efficiency. *Sulphur in Agriculture*, Vol 17, 8-12.
- SCPA-Service experimentation centre de recherche Aspach le Bas et Ministere de l'agriculture et de la Pe,che DGER-S/D FOPDAC: Les courbes d'adsorption d'éléments minéraux.