

EQUILIBRIO ENTRE LAS METAS A CORTO Y LARGO PLAZO EN EL MANEJO DE NUTRIENTES

A. Dobermann, K.G. Cassman, D.T. Walters y C. Witt*

Introducción

Las recomendaciones de fertilización a menudo provienen de experimentos agronómicos que buscan optimizar la aplicación de nutrientes para lograr un alto retorno neto del cultivo al cual se aplicaron estos insumos. Cuando un experimento de campo produce solamente un pequeño incremento en rendimiento, en respuesta a la adición de nutrientes, que no es estadísticamente significativo, a menudo se concluye que no es necesario aplicar nutrientes. Este tipo de decisión puede llevar a un desequilibrio en el uso de fertilizantes y a un balance negativo de nutrientes en el sistema que amenazan la fertilidad del suelo y productividad del cultivo a largo plazo.

En este artículo se presentan cuatro casos de respuestas acumuladas a la aplicación repetida de nutrientes. El mayor beneficio en términos de rendimiento, eficiencia de uso de nutrientes y fertilidad del suelo ocurrieron en el tiempo en que estos sistemas fueron manejados con aplicación continua de un suplemento equilibrado de nutrientes que también permitió mejorar la fertilidad del suelo. Las recomendaciones de fertilización deben considerar la respuesta a corto y largo plazo del cultivo a las aplicaciones de fertilizantes. Es necesario tomar en cuenta los cambios en el contenido de nutrientes en el suelo para evaluar las estrategias de manejo de nutrientes y para estimar el nivel de eficiencia de uso de nutrientes del sistema.

Caso 1: Respuesta del algodón al potasio (K)



Cassman et al. (1989) estudiaron la respuesta del algodón bajo riego a la aplicación de K en un suelo con alto contenido de vermiculita (**Figura 1**). El rendimiento de

algodón estuvo directamente relacionado con el estado del K en el suelo, pero se redujo sin la aplicación de K por el agotamiento de este nutriente del suelo. Sin embargo, se observó un incremento en rendimiento en

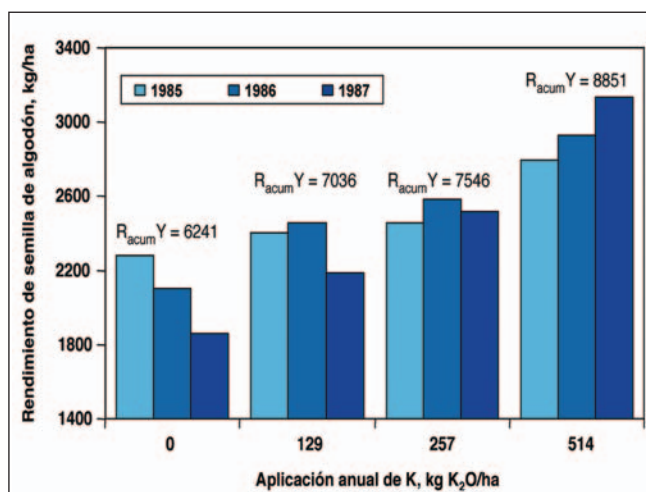
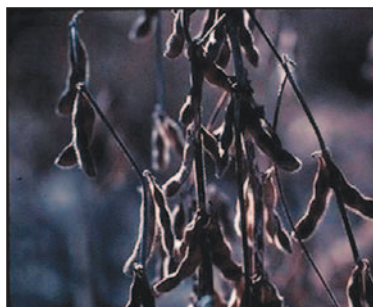


Figura 1. Respuesta anual y acumulada (R_{acum}) del rendimiento de semilla de algodón a la aplicación anual de K en un Vertisol.

cada año sucesivo con la dosis más alta de K. Las dosis anuales de 144 o 288 kg de K₂O/ha resultaron en un incremento acumulado de semilla cosechada de 13 a 21%, pero 576 kg de K₂O/ha produjeron un incremento del 42%. El contenido de K y el de la materia orgánica en el suelo se redujeron en el testigo, donde el equilibrio de K cambió hacia la fijación del nutriente entre las capas de las arcillas del suelo. Con la adición de dosis altas de K se logró la saturación parcial de K de los sitios de fijación, resultando en una mayor disponibilidad de K para las plantas y en un incremento del 50% en la eficiencia de recuperación de fertilizante potásico por el cultivo. Estos beneficios no se lograron con pequeñas aplicaciones de K, o pudieron haberse enmascarado si el estudio se hubiese realizado solamente a corto plazo.

Caso 2: Respuesta de la soya al fósforo (P)



Una de las más importantes decisiones de manejo de suelos ácidos tropicales es invertir o no en fertilizante fosfatado y como aplicarlo a través del tiempo. En un

Ultisol en Hawái, la recuperación de P por soya y la

* Tomado de: Dobermann A., K.G. Cassman, D.T. Walters, and C. Witt. 2005. Balancing short-term and long-term goals in nutrient management. *Better Crops With Plant Food*. Vol. 89 (4): 16-18.

Tabla 1. Absorción acumulada de P (P_{acum} , kg/ha), rendimiento acumulado de soya (R_{acum} , kg/ha), eficiencia de recuperación (ER_p) y eficiencia agronómica (EA_p) de las aplicaciones anuales de P en un Ultisol ácido.

Aplicación anual de P		1988 I	1989 I	1989 II	1990 I
kg P_2O_5 /ha	P_{acum}	----- ER_p (Δ absorción de P/P aplicado, kg/kg) -----			
0	30	-	-	-	-
81 - 114	56	0.08	0.14	0.20	0.29
160 - 230	75	0.08	0.13	0.19	0.22
480 - 688	87	0.04	0.05	0.08	0.09
	R_{acum}	---- EA_p (Δ rendimiento de grano/P aplicado, kg/kg) ----			
0	6460	-	-	-	-
81 - 114	9721	12.7	18.2	22.5	44.1
160 - 230	11101	10.9	15.0	14.7	25.6
480 - 688	11478	4.1	5.5	6.1	8.9

I = Primer ciclo del año.
II = Segundo ciclo del año.
 Δ = Significa "cambio en"

eficiencia agronómica del P aplicado se incrementaron con el tiempo en cuatro ciclos de cultivo con diferente potencial de rendimiento y en todos los niveles de aplicación de P (Cassman et al., 1993). La absorción acumulada de P y el rendimiento de grano de los cuatro ciclos de cultivo se relacionaron estrechamente con la dosis de P aplicada (Tabla 1). El balance neto de ingresos y egresos de P fue positivo en todos los tratamientos con P y resultó en el incremento del P extraíble del suelo, una reducción en la proporción de P fijado de las siguientes aplicaciones del nutriente, una mejor eficiencia de uso de P y un incremento en la absorción de nitrógeno (N) por la soya. Los rendimientos acumulados se incrementan al pasar el tiempo, lo cual también significa que el retorno marginal de la inversión en fertilizantes fosfóricos también se incrementa con el tiempo.

Caso 3: Respuesta del arroz a P y K



Muchas de las recomendaciones de P y K en los sistemas de arroz con riego en Asia se basan en experimentos de campo que enfatizan la respuesta en rendimiento a la

aplicación de nutrientes en un solo ciclo del cultivo. Cuando no se logra medir incrementos significativos en el rendimiento, a menudo se recomienda no aplicar ese nutriente, lo cual puede conducir al agotamiento del P y K del suelo (Dobermann et al., 1998). Aun cuando

la respuesta inicial en rendimiento de arroz de inundación a aplicaciones de P y K es a menudo pequeña, con el transcurso del tiempo se pueden acumular incrementos en rendimiento significativos (Witt et al., 2004).

En el ejemplo que se presenta en la Figura 2 (Witt et al., 2004), el incremento inicial de rendimiento a las aplicaciones de P y K, no son significativas (<0.49 t/ha). Sin embargo, los incrementos del rendimiento fueron consistentes y se hicieron grandes al transcurrir el tiempo porque las fuentes de P y K disponibles en el suelo se fueron agotando. El descuidar las aplicaciones de P y K en el transcurso de 9 años (18 cultivos) produjo una pérdida de 16,6 y 11,0 t/ha de grano, respectivamente. Patrones similares se observaron en

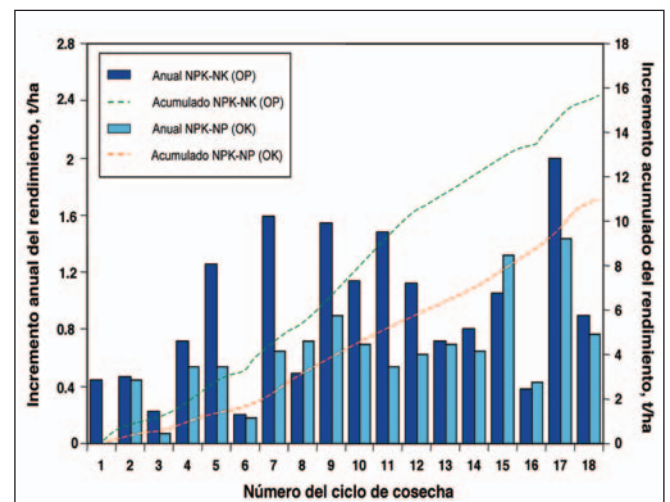


Figura 2. Incrementos anuales y acumulados de arroz irrigado en respuesta a la aplicación de P y K en un Vertisol de Maligaya, Filipinas, 1968-1976.

Tabla 2. Eficiencia de uso de N en sistemas de maíz irrigados con dos formas de manejo, el recomendado para sitio y un manejo intensivo en un Mollisol de Lincoln, Nebraska, Estados Unidos, 2000-2004.

	Recomendado ¹	Intensivo ²
Rendimiento promedio de maíz, kg/ha	13986	15805
Dosis promedio de N, kg/ha	195	305
Balance de N y C en 4 años (Mayo 2000 a Mayo 2004)		
Aporte de residuos del cultivo, t/ha de C sobre el suelo	21.5	26.4
Respiración del suelo + raíces, t/ha de CO ₂	26.9	26.0
Cambio medido de C en el suelo, t/ha	-1.1	4.4
N aplicado, kg/ha	780	1221
N removido con el grano, kg/ha	670	789
Cambio medido de N en el suelo, kg/ha	-230	219
Eficiencia de uso de N		
kg de grano/kg de N aplicado, FPP	33	24
kg de N en el grano/kg de N aplicado	0.86	0.65
kg de N en el grano + cambio de N en el suelo/kg de N aplicado	0.56	0.83

¹ 46000 plantas/ha; Dosis de nutrientes basadas en el análisis de suelo, N fraccionado 2 veces.

² 65000 plantas/ha; Dosis más altas de nutrientes, N fraccionado 4 veces, 50 kg de N aplicados sobre el residuo antes de la labranza.

otros sitios en Asia. Los requerimientos de fertilizantes podrían subestimarse si se basan en respuesta en rendimiento a corto plazo, sin considerar la remoción de nutrientes en el grano y la paja. Por lo tanto, en un nuevo concepto de manejo de nutrientes por sitio específico, las dosis de P y K de mantenimiento se calculan basándose en un modelo de ingresos-egresos de nutrientes (Dobermann et al., 2004).

Caso 4: Nitrógeno (N) en sistemas de maíz de riego



El mantenimiento de la materia orgánica en el suelo (MOS) es una importante meta en la agricultura, tanto en términos de fertilidad de suelos como de secuestro del dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera. Debido a la estrecha relación C:N en MOS, el secuestro de C requiere de suficiente N. Este papel del N también debe

considerarse para evaluar la eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado y para diseñar estrategias de manejo de N a largo plazo.

En el ejemplo presentado en la **Tabla 2**, el sistema de maíz continuo recomendado en Nebraska, Estados Unidos, representa un tipo de manejo para obtener rendimientos de aproximadamente el 80% del potencial

del rendimiento de maíz. En el sistema intensivo propuesto, el manejo del cultivo se intensificó para lograr del 90 al 95% del potencial de rendimiento. El sistema en general se describe en el pie de página de la **Tabla 2**. Uno de los factores de manejo en este sistema es la aplicación de una cantidad extra de N antes de la labranza para ayudar la descomposición y humificación de los residuos del cultivo. En un periodo de 4 años el ingreso de C acumulado en los residuos fue 22% más alto en el sistema intensivo que con el manejo recomendado para el sitio, pero no hubo diferencia en la respiración de C del suelo. El sistema de manejo intensivo produjo un significativo secuestro de C y N en la MOS, mientras que en el sistema recomendado se produjo una pérdida neta de C y N del suelo.



El Dr. Dobermann presenta la investigación de alta producción de maíz en un día de campo

Basándose en el factor parcial de productividad (FPP) anual del N aplicado, el sistema recomendado aparentemente es más eficiente ya que produjo 33 kg de grano/kg N aplicado (0.86 kg de N en el grano/kg de N) a diferencia de 24 kg de grano/kg de N (0.65 kg de N en el grano/kg N) en el sistema intensivo. Sin embargo, cuando se incluyó el cambio neto de N en el suelo, el sistema intensivo tuvo un mayor nivel de eficiencia de N en el sistema (0.56, **Tabla 2**) debido a que la mayor cantidad de fertilizante nitrogenado contribuyó a la acumulación de MOS. Con el tiempo, esto incrementará el suplemento de N nativo del suelo y llevará a un incremento en la FPP, cosa que no se puede lograr en el sistema más conservador recomendado para el sitio.

Conclusiones

Las estrategias de manejo de la fertilización deben ser equilibradas para lograr una alta eficiencia de corto plazo, así como también para maximizar la respuesta acumulada del rendimiento del cultivo en el transcurso de un tiempo. Aun cuando el costo del fertilizante generalmente se carga a un solo cultivo, los beneficios a largo plazo de la disponibilidad residual del fertilizante (P, K) o de los incrementos en el

almacenamiento de C y N en el suelo deben incluirse en la evaluación de la respuesta económica a la aplicación de fertilizantes. La contribución de los nutrientes añadidos a la absorción por el cultivo y al suplemento de nutrientes nativos del suelo deben considerarse para analizar el nivel de eficiencia del sistema a los nutrientes aplicados.

Bibliografía

- Cassman, K.G., B.A. Roberts, T.A. Kerby, D.C. Bryant, and S.L. Higashi. 1989. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:805-812.
- Cassman, K.G., P.W. Singleton, and B.A. Linquist. 1993. *Field Crops Res.* 34:23-36
- Dobermann, A., K.G. Cassman, C.P. Mamaril, and J.E. Sheehy. 1998. *Field Crops Res.* 56:113-138.
- Dobermann, A., C. Witt, and D. Dawe (ed). 2004. *Increasing productivity of intensive rice systems through site-specific nutrient management.* Science Publishers, IRRI, Enfiel and Los Baños.
- Witt, C., A. Dobermann, R.J. Buresh, S. Abdurachman, H.C. Gines, R. Nagarajan, S. Ramanathan, P.S. Tan, and G.H. Wang. 2004. *Better Crops.* 88 (4): 32-35. [🌐](#)