

El manganeso como factor positivo en la producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) y arveja (*Pisum sativum* L.) en suelos del altiplano Cundiboyacense

Manganese as a positive factor in the potato (*Solanum tuberosum* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) production in soils of Cundiboyacense high plain

Manuel Iván Gómez¹, Miguel Ángel López² y Yenny Carolina Cifuentes³

Resumen: En dos suelos contrastantes, Andic Eutrudepts (Funza, Cundinamarca) y Typic Hapludands (Saboyá, Boyacá), se evaluó la respuesta agronómica a la aplicación de manganeso de *Solanum tuberosum* L. y *Pisum sativum* L. En *S. tuberosum* se realizó la investigación en dos localidades, Funza y Saboyá, evaluando dosis de Mn de 0,0; 3,0; 4,0; 6,0 kg · ha⁻¹, respectivamente, aplicado en mezcla con el fertilizante NPK en siembra; en Saboyá se contó con un testigo sin aplicación de fertilizante. Las variedades utilizadas en la investigación fueron ‘Diacol Capiro’ en Funza y ‘Parda Pastusa’ en Saboyá. En *P. sativum* la evaluación se llevó a cabo en la localidad de Funza y se valoraron dosis de Mn de 0,0; 2,5; 5,0; 10,0; 15,0 kg · ha⁻¹ aplicadas en mezcla con el fertilizante recomendado NPK. En todos los casos, se utilizó como fuente sulfato de Mn granulado (Microman, 20% Mn). Los ensayos estuvieron bajo un diseño de bloques completos al azar con tres réplicas. Se observó una respuesta positiva en *S. tuberosum* bajo Andic Eutrudepts con dosis de Mn de 5,0 a 6,0 kg · ha⁻¹ y en Typic Hapludands con dosis de Mn de 3,0 a 4,0 kg · ha⁻¹, respuesta que provocó un incremento significativo del rendimiento entre 10% y 17%, con relación al tratamiento sin aplicación. En *P. sativum* la aplicación de Mn generó incrementos altamente significativos en el rendimiento, favorables a dosis de Mn de 2,5 a 3,0 kg · ha⁻¹. Esta investigación es extrapolable a unidades de suelos con características similares y demuestra que existen factores nutricionales pasivos que pueden disminuir la brecha en el potencial de rendimiento.

Palabras claves adicionales: fertilización, dosis, micronutrientes, ‘Diacol Capiro’, ‘Parda Pastusa’

Abstract: In two contrast soils, Andic Eutrudepts (Funza, Cundinamarca) and Typic Hapludands (Saboyá, Boyacá), the agronomic response of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) to the application of manganese was evaluated. In *S. tuberosum*, the investigation was made in two localities, Funza and Saboyá, evaluating Mn doses of 0.0, 3.0, 4.0, or 6.0 kg · ha⁻¹, respectively, applied in mixture with NPK fertilizer. Additionally, in Saboyá, a control treatment had no fertilizer applied. The varieties used in the investigation were ‘Diacol Capiro’ (Funza) and ‘Parda Pastusa’ (Saboyá). In *P. sativum*, the evaluation was carried out in the locality of Funza, and the doses of Mn were 0.0, 2.5, 5.0, 10.0, or 15.0 kg · ha⁻¹ applied in mixture with recommended fertilizer NPK. In all cases, granulated manganese sulphate was used as a source of Mn (Microman; 20% Mn). The experiments were arranged in a random complete block design with three replicates. The application of Mn from 5.0 up to 6.0 kg · ha⁻¹ in *S. tuberosum* in Andic Eutrudepts and from 3.0 up to 4.0 kg · ha⁻¹ Mn in Typic Hapludands increased yield on 10% and 17%, respectively, compared to the control without application. In *P. sativum*, the application of Mn caused highly significant increases in yield, favourable to Mn dose between 2.5 and 3.0 kg · ha⁻¹. This investigation may be extrapolated to soil units with similar characteristics and show that passive nutritious factors could increase yield potential.

Additional key words: fertilization, dose, micronutrients, ‘Diacol Capiro’, ‘Parda Pastusa’

Fecha de recepción: 09 de julio de 2006
Aceptado para publicación: 30 de noviembre de 2006

¹ Director de investigación, Microfertisa SA, Bogotá. e-mail: migomez@microfertisa.com.co

² Investigador asistente, Microfertisa SA, Bogotá. e-mail: mlopez@microfertisa.com.co

³ Investigadora asistente, Microfertisa SA, Bogotá. e-mail: ycifuentes@microfertisa.com.co

Introducción

EL MANGANESO (Mn) EN LA CORTEZA TERRESTRE se encuentra en forma de óxidos, carbonatos y silicatos. Su contenido total en el suelo generalmente varía entre 200 y 3.000 mg · kg⁻¹ y se puede encontrar en forma divalente, trivalente o tetravalente. Sin embargo, las formas más oxidadas son menos asimilables para las plantas. Para la nutrición vegetal la forma más importante es Mn²⁺, catión divalente que en condiciones ácidas es adsorbido por minerales arcillosos, mientras que en presencia de elevados contenidos de materia orgánica forma complejos orgánicos (Loué, 1988).

El Mn se considera inmóvil dentro de la planta (flocema) y su disponibilidad para los cultivos está influenciada por los factores del suelo que intervienen en el proceso de oxidorreducción, particularmente el pH, el contenido de materia orgánica, el estado hídrico del suelo y la actividad microbiana. Su disponibilidad es más elevada en los suelos ácidos debido a la solubilización de los compuestos que contienen Mn. A medida que aumenta el valor de pH se reduce su disponibilidad, ya que por cada aumento en una unidad de pH la concentración de este nutriente se reduce 100 veces; de esta manera en suelos de alta saturación catiónica puede existir mayor sensibilidad a la deficiencia (Fageria *et al.*, 2002; Loué, 1988).

Los contenidos altos de materia orgánica pueden ocasionar deficiencias, por la formación de complejos Mn-materia orgánica. Bajo condiciones ácidas, la oxidoreducción incrementa la disponibilidad de Mn y en algunos casos, la toxicidad, siempre y cuando el contenido nativo edáfico sea adecuado. Adicionalmente, puede presentarse un antagonismo entre el hierro y el manganeso (Fageria *et al.*, 2002).

Este catión se encuentra involucrado en procesos de activación de las enzimas fosfotransferasa, dehidrogenasas y fosfomutasa. Interviene en la síntesis de clorofila y en sistemas de oxidoreducción del proceso de fotosíntesis. El Mn es esencial en el proceso de respiración, la síntesis de proteínas, el metabolismo de nitrógeno (fase inicial de la reducción de nitratos) y azúcares. Plantas con contenidos adecuados de este elemento tienden a presentar una mayor fotosíntesis neta (Salisbury y Ross, 1994; Marschner, 1995).

Cuando ocurre deficiencia de Mn en la planta, los contenidos de lípidos del cloroplasto disminuyen, lo que puede ser explicado por el papel desempeñado por el

Mn en la biosíntesis de ácidos grasos, carotenoides y compuestos relacionados (Marschner, 1995).

Según Loué (1988) y Fageria *et al.* (2002), las principales condiciones del medio que favorecen la deficiencia del Mn son: suelos orgánicos ricos en materia orgánica, suelos calcáreos mal drenados ricos en materia orgánica o minerales, suelos muy aireados, suelos ligeramente ácidos o alcalinos, suelos ácidos muy arenosos lavados pobres en Mn, suelos ricos en hierro. En general, los suelos se consideran bajos en Mn si su contenido edáfico hallado por el método de Olsen es menor a 10 mg · kg⁻¹ (Gómez, 2005).

En suelos de la planicie Cundiboyacense se acrecienta la deficiencia y baja disponibilidad de Mn debido al uso intensivo de los suelos en la producción de cultivos de alto rendimiento, la aplicación constante de NPK, la baja tasa de restitución de micronutrientes y el manejo inadecuado de enmiendas, que ocasionan en algunos casos sobreencalamiento.

De acuerdo a Vitosh (1990), las recomendaciones de aplicación del Mn pueden basarse en sus concentraciones nativas y en el tipo de reacción (pH) del suelo, considerando que en suelos minerales a niveles de pH mayores a 6,0 existe una alta probabilidad de respuesta, mientras que a pH menores a 6,0 la respuesta es menor. La tabla 1 resume algunas recomendaciones del Mn en el cultivo de papa bajo condiciones de la zona templada.

Las dosis evaluadas en el presente estudio se fundamentan en el requerimiento promedio para papa, que puede

Tabla 1. Recomendaciones de Mn para la zona templada de Estados Unidos, de acuerdo al pH y al nivel del suelo (HCl 1 N) (Vitosh, 1990).

Mn nivel del suelo (mg · kg ⁻¹)	pH			
	< 5,8	6,2	6,6	7,0
Mn recomendado (kg · ha ⁻¹)				
4	0	2,5	4,0	5,5
8	0	1,5	3,5	5,0
12	0	1,0	3,0	4,5
16	0	0	2,0	4,0
20	0	0	1,5	3,0
24	0	0	1,0	2,5
28	0	0	0	2,0
32	0	0	0	1,5
36	0	0	0	1,0
40	0	0	0	0

estar alrededor de 25-30 g de Mn por tonelada producida (Bertsch, 2003) y una eficiencia de la fuente entre 10% y 20%, dependiendo del pH del suelo (tabla 1). Cabe anotar que el Mn es, después del hierro ($80 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$), el micronutriente más requerido por el cultivo (Bertsch, 2003).

Respecto a los antecedentes de manejo de la fertilidad de cultivos intensivos en la región, las deficiencias de Mn son notorias al realizar el diagnóstico integral mediante análisis de suelos, análisis foliar y diagnóstico visual en campo, como lo referencian investigaciones llevadas a cabo por Microfertisa (2003).

El síntoma de deficiencia en campo del Mn se manifiesta a través de un color amarillo bronce intervenal de las hojas del tercio superior de la planta, de la reducción del tamaño de la lámina foliar y la producción de sintomatología semejante al moteado (Vitosh *et al.*, 1997; Loué, 1998). En algunas ocasiones no se expresan los síntomas, pero sí inciden de manera negativa sobre el rendimiento debido al ‘hambre oculta del cultivo’, por ser un elemento que activa complejos enzimáticos durante la fotosíntesis (Loué, 1998.; Havlin *et al.*, 1999).

Bajo el esquema actual de fertilización del cultivo de papa y arveja, la aplicación de micronutrientes, y más específicamente de Mn, no es de uso frecuente ya que los planes de fertilización no contemplan a cabalidad el concepto de integralidad en el balance nutricional, hecho que puede llegar a subestimar la importancia de la aplicación de Mn, más si se considera que es un elemento con bajos contenidos nativos en suelos de la Sabana de Bogotá (Microfertisa, 2003).

Esta investigación es una primera aproximación en el país a la importancia del Mn en el manejo de la fertilidad de los cultivos, evaluando de modo exploratorio la respuesta agronómica del cultivo de papa *S. tuberosum* y arveja *P. sativum* a la aplicación edáfica de dosis crecientes de este elemento; en consecuencia, se determinaron los niveles de recomendación técnica relacionados con procesos y factores que inciden en la baja disponibilidad de Mn en los dos suelos de estudio –Andic Eutrudepts y Typic Hapludands. Además, hace parte de la investigación macro sobre micronutrientes en la agricultura que realiza la empresa Microfertisa en cultivos tropicales.

Materiales y métodos

La investigación se realizó durante 2004 y 2005 en dos localidades. En la Granja Experimental Microfertisa

(GEM) en Funza (Cundinamarca), a una altura de 2.534 msnm y una precipitación promedio anual de 1.500 mm, bajo un suelo Andic Eutrudepts francoso mezclado isomésico; allí se evaluó la respuesta de la papa ‘Diacol Capiro’ y arveja ‘Santa Isabel’ a la aplicación de Mn. Por su parte, en el sector de Saboyá (Boyacá), a 2.650 msnm y una precipitación anual promedio de 1.000 mm, se evaluó la respuesta de la papa ‘Parda Pastusa’ en un Typic Hapludands francoso mezclado isomésico (fase desaturada). La caracterización del suelo a nivel de familia se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por la *Soil Survey Staff 2003* y se analizó químicamente la cantidad de Mn a partir de una extracción con DTPA y posterior determinación por absorción atómica (Lora, 1991), teniendo en cuenta factores relacionados con el manejo de las muestras de suelo (Lindsay y Cox, 1984). Luego de realizar el análisis, se encontró que son suelos con niveles bajos de Mn ($< 10,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$).

Para determinar los factores que inciden en los bajos contenidos de Mn en este tipo de suelos, se realizó un diagnóstico fisiográfico, morfológico, fisicoquímico y biológico, considerando los parámetros relacionados con la baja disponibilidad del Mn presentados por Loué (1988) y Fageria *et al.* (2002).

El estudio de la respuesta agronómica y la determinación del requerimiento de Mn en el cultivo de *S. tuberosum* y *P. sativum* se llevó a cabo mediante la instalación de tres ensayos experimentales exploratorios en campo, dos en papa y uno en arveja. Los ensayos de papa estuvieron ubicados en las localidades de Funza y Saboyá, donde se evaluó la aplicación de Mn en dosis de 0,0; 2,0; 4,0; 6,0 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ y 0,0; 3,0; 6,0 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, respectivamente; además, en el caso de Saboyá se contó con un testigo absoluto adicional, en ausencia de fertilizante. Las variedades de papa utilizadas en la investigación correspondieron a las tradicionalmente cultivadas en cada zona, es decir, ‘Diacol Capiro’ en Funza y ‘Parda Pastusa’ en Saboyá. El ensayo de arveja (‘Santa Isabel’) se estableció en la localidad de Funza, valorando las dosis de Mn de 0,0; 2,5; 5,0; 10,0 y 15,0 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. La aplicación de Mn en la localidad de Funza para los dos cultivos se realizó como complemento de un plan de fertilización establecido de acuerdo al análisis de suelos, mientras que en Saboyá se realizó como complemento al plan de fertilización tradicional del agricultor (175 N, 475 P_2O_5 , 175 K_2O). La fuente utilizada en todos los casos fue sulfato de manganeso ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) granulado (20% Mn, Microman), por ser la fuente edáfica más eficiente para los cultivos (Havlin *et al.*, 1999; Vitosh, 1990).

Los ensayos se hicieron bajo un diseño de bloques completos al azar, con tres réplicas, en los que los tratamientos correspondieron a las dosis de Mn arriba mencionadas y establecidas considerando las bajas concentraciones edáficas en los dos tipos de suelos ($< 6,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) (tabla 2), el requerimiento de los cultivos y la eficiencia a nivel del suelo (10-20%); además, se usaron dosis altas para inducir respuesta negativa por toxicidad y se tuvo en cuenta la respuesta positiva de las leguminosas (Loué, 1988) y de la papa a la aplicación de Mn, que fluctúa alrededor de $2,0\text{-}3,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Vitosh, 1997; Kelling, 2001).

La aplicación del producto en el cultivo de papa se llevó a cabo al momento de la siembra, a través de una mezcla física con los demás fertilizantes. El método de aplicación fue el tradicionalmente utilizado, es decir, corona alrededor de los tubérculos de semilla. Para el cultivo de arveja, la aplicación se realizó en mezcla con los demás fertilizantes a los 30 d después de emergencia, utilizando como método la banda superficial.

La evaluación de los resultados se hizo mediante análisis de varianza y pruebas de comparación de medias (Duncan y Tukey). Los niveles o rangos de aplicación –óptimo técnico– se establecieron a partir de análisis de regresiones estadísticas de tipo polinomial.

Resultados y discusión

Identificación de factores que inciden en la baja disponibilidad de Mn

Se determinó que los factores que afectan la disponibilidad del Mn^{2+} (forma asimilable por la planta) en los suelos de estudio ocasionan en conjunto las bajas concentraciones determinadas ($< 10,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); concentraciones que a su vez están relacionadas con el bajo contenido de Mn proveniente de los minerales del material parental: i) por ser suelos derivados de minerales amorfos y por el alto contenido de C orgánico ($> 8,0\%$) que sugiere la formación de complejos organometálicos que fijan el Mn^{2+} ; ii) por ser suelos moderadamente bien drenados, los cuales aceleran la oxidación del

Mn^{2+} a formas no disponibles para la nutrición vegetal como Mn^{3+} y Mn^{4+} ; iii) por efectos antagonicos con el hierro, relaciones Fe/Mn mayores a 35,0 en ambas localidades, alta saturación de bases con elevado porcentaje de saturación de Ca en Andic Eutrudepts (Funza) y alta saturación de Al ($> 60\%$) para Typic Hapludands (Saboyá) y iv) por el régimen de temperatura isomésico que incide en la baja movilidad de este elemento en el suelo. Los anteriores factores también han sido identificados en otros suelos del Trópico (Kelling y Speth, 2001; Fassbender, 1982).

Respuesta a la aplicación de Mn y determinación de la dosis óptima

En arveja ‘Santa Isabel’ en un Andic Eutrudepts de la Sabana de Bogotá

La figura 1 muestra el efecto positivo del Mn sobre la variable rendimiento de arveja (*P. sativum*), como complemento a un plan de fertilización NPK Mg S. Al realizar la prueba de comparación de promedios de Duncan y el análisis de varianza se observan diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamientos (tabla 3).

En la figura 1 y la tabla 3, se observa la interacción positiva en rendimiento ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) de arveja a la aplicación de Mn + NPK Mg S. Al realizar la prueba de Duncan, se observa que con dosis de Mn de $2,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ se obtie-

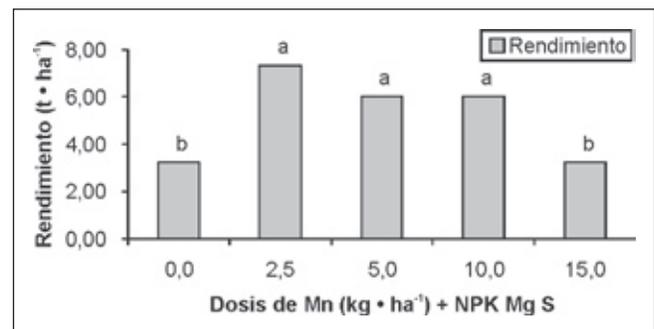


Figura 1. Respuesta en rendimiento del cultivo de arveja ante la aplicación de Mn en un Andic Eutrudepts de la Sabana de Bogotá (Gómez *et al.*, 2004). Promedios con letras diferentes presentan diferencia estadística significativa ($P < 0,05$).

Tabla 2. Principales características químicas de los suelos utilizados en el estudio.

Zona	MO (%)	pH	Ca	Mg	K	Al	CICE	$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$						
								P	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
Saboyá	19,68	4,11	1,02	0,19	0,55	3,02	4,90	40,97	11,62	2,55	0,65	235,00	5,30	0,29
Funza	11,74	6,30	24,00	4,36	1,71	-	30,37	173,08	21,75	28,90	4,40	65,00	1,70	2,98

MO, materia orgánica; CICE, capacidad de intercambio catiónico efectiva.

Tabla 3. Promedios por tratamiento y análisis de varianza para la aplicación de Mn en el cultivo de arveja en un Andic Eutrudepts de la Sabana de Bogotá.

Tratamiento NPK Mg S + Mn	Rendimiento (t · ha ⁻¹)	Δ rendimiento (%)	cv (%)
Mn 0,0 kg · ha ⁻¹	3,24b	0,00	5,50
Mn 2,5 kg · ha ⁻¹	7,36a	127,16	4,28
Mn 5,0 kg · ha ⁻¹	6,01a	85,49	3,84
Mn 10,0 kg · ha ⁻¹	6,00a	85,19	8,41
Mn 15,0 kg · ha ⁻¹	3,22b	-0,62	2,96
P > F	< 0,0001		
Significancia	**		

**Diferencia altamente significativa ($P < 0,01$),
cv, coeficiente de varianza.

ne el mayor rendimiento (7,36 t · ha⁻¹), con diferencias altamente significativas ($P < 0,01$). Además, se observa un incremento de 127% respecto al tratamiento control (3,2 t · ha⁻¹) y a la aplicación de Mn de 15,0 kg · ha⁻¹ (3,2 t · ha⁻¹), en los que los rendimientos son los más bajos por la no aplicación de Mn y el efecto negativo causado por toxicidad al aplicar dosis de Mn mayores a 5,0 kg · ha⁻¹ (figura 2).

En la figura 2 se observa que la respuesta del rendimiento en función de la dosis de Mn sigue un modelo polinomial de segundo grado, en el que aumentos en la dosis de este nutriente responde con incrementos en el rendimiento; pero dicho incremento es marginal a dosis de Mn mayores a 4,0 kg · ha⁻¹ por la aparición de toxicidad. La dosis óptima técnica se presenta cuando se aplican dosis de Mn entre 2,5 y 3,0 kg · ha⁻¹. El intervalo de aplicación comprendido entre 3,0 y 4,0 kg · ha⁻¹ incrementa los rendimientos con respecto al testigo, pero también implica mayores costos de aplicación para el

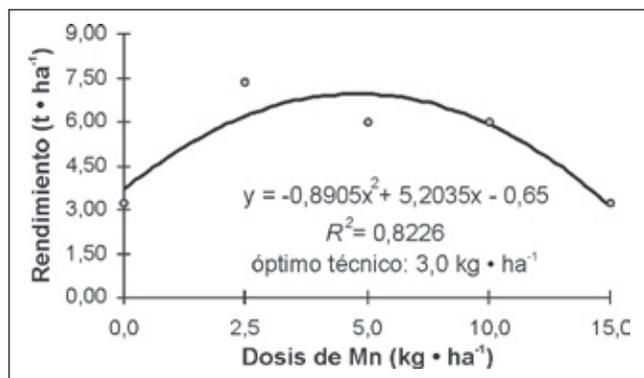


Figura 2. Modelo respuesta del rendimiento de arveja *P. sativum* ‘Santa Isabel’ a la aplicación de Mn en un Andic Eutrudepts de la Sabana de Bogotá (Gómez *et al.*, 2004).

productor. Se puede deducir que en este rango puede existir un consumo de lujo o acumulación de Mn por parte del cultivo de arveja.

En papa ‘Parda Pastusa’ en un Typic Hapludands del Altiplano Cundiboyacense

La respuesta de la aplicación de Mn en un suelo Typic Hapludands (fase desaturada) con niveles excesivos de Fe (230,0 mg · kg⁻¹) y bajos de Mn (5,3 mg · kg⁻¹) es presentada en la figura 3. De acuerdo a la prueba de Tukey y el análisis de varianza (tabla 4), se observan diferencias estadísticas significativas entre las dosis ($P < 0,05$): con dosis de Mn entre 3,0 y 6,0 kg · ha⁻¹ se producen rendimientos estadísticamente superiores a las demás dosis, con un incremento en rendimiento de 17% respecto al testigo sin aplicación y en más de 50% con relación al testigo absoluto, sin fertilizante NPK. Lo anterior plantea que la aplicación de Mn ejerce un estímulo favorable sobre la producción de tubérculos y, por ende, sobre el rendimiento del cultivo.

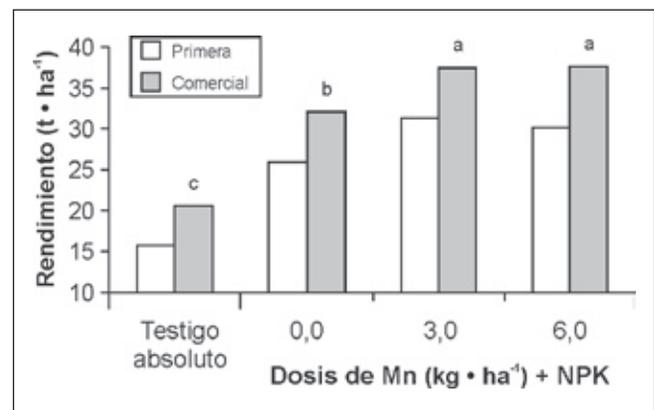


Figura 3. Respuesta de la papa ‘Parda Pastusa’ a la aplicación de Mn en un Typic Hapludands del altiplano Cundiboyacense (Gómez *et al.*, 2004). Promedios con letras diferentes presentan diferencia estadística significativa ($P < 0,05$).

La respuesta positiva a dosis altas de Mn de 6,0 kg · ha⁻¹ en Typic Hapludands se debe posiblemente a la elevada relación Fe/Mn existente en el suelo y a los altos contenidos de materia orgánica, características que limitan la disponibilidad del Mn para la nutrición vegetal debido al antagonismo con el Fe y a la formación de complejos organometálicos entre el Mn y la materia orgánica (Kelling y Speth, 2001; Fageria, 2002). De esta manera, la aplicación de Mn en dosis de 3,0 y 6,0 kg · ha⁻¹ induce al incremento de los contenidos edáficos del nutriente, mejorando así el balance Fe/Mn

Tabla 4. Promedios por tratamiento y análisis de varianza para la aplicación de Mn en el cultivo de papa ‘Parda Pastusa’ en un Typic Hapludands del altiplano Cundiboyacense.

Tratamiento	Papa comercial (t · ha ⁻¹)	Δ rendimiento (%)	cv (%)	Papa de primera (t · ha ⁻¹)	cv (%)
Testigo absoluto	20,57a	-35,80	31,23	15,80	33,29
NPK + Mn 0,0 kg · ha ⁻¹	32,04a	0,00	27,15	23,49	27,72
NPK + Mn 3,0 kg · ha ⁻¹	37,52b	17,10	15,49	31,38	17,64
NPK + Mn 6,0 kg · ha ⁻¹	37,68c	17,60	10,45	30,27	7,27
P > F	0,036			0,027	
Significancia	*			*	

*Diferencia significativa $P < 0,05$.

–disminuye su relación– y, consecuentemente, la disponibilidad y absorción del Mn por parte del cultivo. Además, provoca una formación menor de complejos organometálicos debido al predominio de Mn en la fase solución e intercambiable del suelo.

En la figura 4 se observa que la respuesta del rendimiento en función de la dosis de Mn sigue un modelo polinomial de segundo grado, en el que a aumentos en la dosis de este nutriente se responde con incrementos en el rendimiento; sin embargo, este incremento es marginal a dosis de Mn mayores a 5,0 kg · ha⁻¹ debido a la aparición de toxicidad. La dosis óptima técnica se presenta cuando se aplican dosis de Mn cercanas a 4,0 kg · ha⁻¹. El intervalo de aplicación comprendido entre 4,0 y 5,0 kg · ha⁻¹ incrementa los rendimientos con respecto al testigo. Se puede deducir que a niveles de Mn mayores a este rango puede existir un consumo de lujo o acumulación de Mn por parte del cultivo de papa.

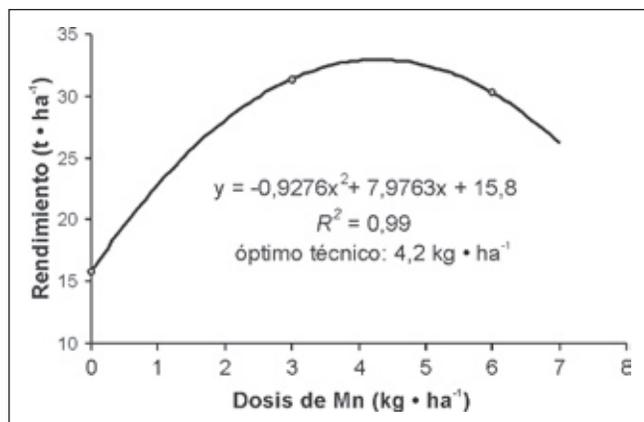


Figura 4. Modelo respuesta del rendimiento de papa ‘Parda Pastusa’ a la aplicación de Mn en un Typic Hapludands del altiplano Cundiboyacense.

En papa ‘Diacol Capiro’ en un Andic Eutrudepts de la Sabana de Bogotá

En la figura 5 se observa el efecto positivo sobre el rendimiento, expresado en calidad de primera y comercial (gruesa + pareja), ejercido por la aplicación de Mn + NPK Mg. Este efecto se refleja en mayores rendimientos promedios en los tratamientos en que se adicionaron aplicaciones de Mn al plan de fertilización NPK Mg. Estas aplicaciones complementarias de Mn en dosis de 3,0; 4,0 y 6,0 kg · ha⁻¹ promovieron incrementos, con respecto al testigo sin aplicación, en la variable rendimiento en papa gruesa de 3,3% (1,29 t · ha⁻¹), 5,98% (2,33 t · ha⁻¹) y 10,47% (4,08 t · ha⁻¹), respectivamente (tabla 5).

De igual manera, las aplicaciones de Mn en dosis de 3,0; 4,0 y 6,0 kg · ha⁻¹ también produjeron incrementos relativos en la variable rendimiento en papa comercial

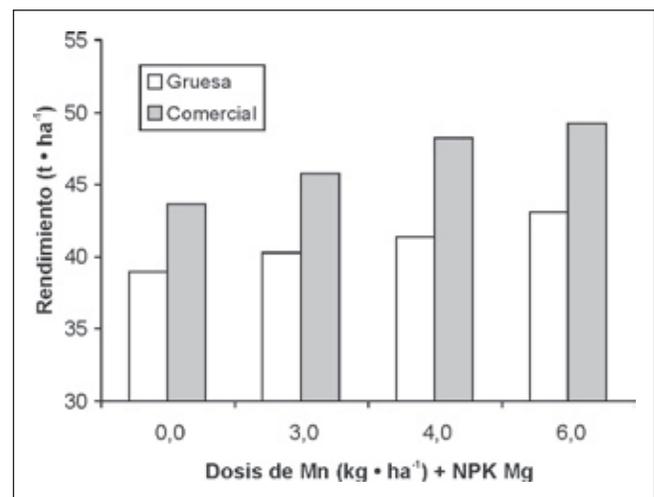


Figura 5. Respuesta en rendimiento del cultivo de papa ‘Diacol Capiro’ a la aplicación de Mn en un Andic Eutrudepts de la Sabana de Bogotá.

Tabla 5. Análisis de varianza y promedios para las variables rendimiento de papa gruesa y comercial (gruesa + pareja), variedad ‘Diacol Capiro’, en función de la dosis de Mn aplicada en un Andic Eutrudepts de la Sabana de Bogotá.

Tratamiento NPK + Mg	Papa gruesa (t · ha ⁻¹)	Δ rendimiento (%)	cv (%)	Papa comercial (t · ha ⁻¹)	Δ Rendimiento (%)	cv (%)
Testigo	39,00	0,00	10,5	43,67	0,00	8,61
Mn 3,0 kg · ha ⁻¹	40,29	3,31	17,1	45,75	4,77	13,79
Mn 4,0 kg · ha ⁻¹	41,33	5,98	8,9	48,25	10,50	10,40
Mn 6,0 kg · ha ⁻¹	43,08	10,47	9,2	49,21	12,69	6,33
P > F	0,771			0,471		
Significancia	ns			ns		

ns, diferencia no significativa ($P > 0,05$).

cial (gruesa + pareja) de 4,77% (2,08 t · ha⁻¹), 10,50% (4,58 t · ha⁻¹) y 12,69% (5,54 t · ha⁻¹), respectivamente. El menor incremento sobre el rendimiento en papa en el Andic Eutrudepts en Funza, respecto a la evaluación hecha en el Typic Hapludands en Saboyá, se debió al alto nivel de fertilidad presente en los suelos de Funza, característica que induce a una diferencia menor entre el rendimiento obtenido y el rendimiento potencial. Sin embargo, el hecho de que la dosis óptima técnica de Mn sea mayor, alrededor de 6,0 kg · ha⁻¹ (figura 6), puede indicar que, a medida que el pH es cercano a 6,0, los requerimientos de Mn se incrementan como consecuencia de la disminución de la solubilidad y la tasa de disociación de los compuestos que contienen Mn (Kelling y Speth, 2001).

En la figura 6 se presenta la regresión estadística para la variable rendimiento comercial (gruesa + pareja) en función de la dosis de Mn aplicada al cultivo. El modelo que sigue esta regresión es de tipo polinomial de segundo grado. La figura sólo esquematiza la parte creciente de la curva, lo que indica que los re-

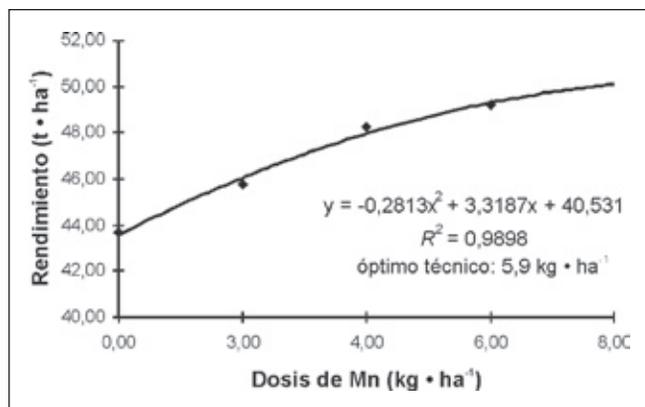


Figura 6. Respuesta en rendimiento, expresada en papa comercial, ante la aplicación de Mn en un Andic Eutrudepts de la Sabana de Bogotá (Gómez *et al.*, 2005).

querimientos de Mn en suelos saturados con pH cercanos a la neutralidad son mayores y, por tanto, ante dosis consideradas altas no evidencian efectos tóxicos. La dosis óptima técnica de Mn se encuentra en el rango de 5,0 a 6,0 kg · ha⁻¹.

Conclusiones

La aplicación de Mn ejerce una respuesta positiva en el manejo de la fertilidad de cultivos de papa, con incrementos de 10% en el rendimiento respecto a la fertilización convencional en suelos con alto nivel de fertilidad (Andic Eutrudepts) e incrementos de 17% en suelos con bajo nivel de fertilidad (Typic Hapludands). Esto representa una alternativa importante en la optimización de la producción del cultivo, y los incrementos dependen además del nivel tecnológico de éste.

Respecto al cultivo de arveja, las respuestas fueron más significativas con dosis técnicas alrededor de 2,0 a 3,0 kg · ha⁻¹, con mayores incrementos relativos y menor dosis óptima técnica de Mn respecto al cultivo de papa en Andic Eutrudepts (Funza), lo que sugiere una mayor eficiencia en absorción por parte de *P. sativum*.

Al comparar las dosis óptimas técnicas de Mn en el cultivo de papa bajo los dos tipos de suelos, se puede concluir que la diferencia en las dosis óptimas técnicas de aplicación de 5,0-6,0 kg · ha⁻¹ en Andic Eutrudepts (Funza), respecto a los 3,0-4,0 kg · ha⁻¹ en Typic Hapludands, se puede deber a factores relacionados con la reacción del suelo y con los contenidos nativos de Mn, ya que en Andic Eutrudepts en Funza el pH del suelo es mayor (alrededor de 6,0) y el nivel de Mn (1,73 mg · kg⁻¹) es menor respecto al Typic Hapludands de Saboyá (pH < 5,0 y Mn > 5,0 mg · kg⁻¹), características que favorecen la disponibilidad de Mn y, por ende, provocan requerimientos de aplicación menores.

Las variedades 'Parda Pastusa' y 'Diacol Capiro' responden positivamente a la aplicación de Mn, con una mayor respuesta en 'Parda Pastusa', expresada en mayores incrementos relativos. Sería importante evaluar y ajustar aún más los requerimientos de Mn por parte de las distintas variedades de papa, así como evaluar su influencia en variables fisiológicas específicas y de calidad.

La evaluación de la fertilidad, teniendo en cuenta las diferentes clases de suelos, facilita aún más la interpretación, el manejo y la extrapolación de las respuestas dentro de la recomendación de la fertilización de los cultivos, porque se tienen en cuenta procesos específicos en cada área modal representativos para cada unidad de suelos.

Literatura citada

- Bertsch, F. 1995. Absorción de nutrientes por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Colorgraf SA, Costa Rica. 307 p.
- Fageria, N., V. Baligar y R. Clark. 2002. Los micronutrientes en la producción de cultivos. Elsevier Science. pp. 185-286.
- Fassbender, H.W. 1982. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA, San José (Costa Rica). 398 p.
- Gómez, M.I. 2005. Análisis de suelos como herramienta de diagnóstico en la evaluación química de la fertilidad en el cultivo de papa. En: Fisiología y nutrición vegetal en el cultivo de la papa. Cevipapa, Bogotá. 99 p.
- Havlin, B., S. Tisdale y W.L. Nelson. 1999. Soil fertility and fertilizers. 3rd edition. McMillan, New York. pp. 150-184.
- Kelling A. y P. Speth. 2001. Soil conditions favoring micronutrient deficiencies in hankon and sponer. Responses on potato tuber. Public report. Department of Soil Science, University of Wisconsin-Madison. 21 p.
- Lindsay, W.L. y F.R. Cox. 1985. Micronutrient soil testing for the tropics. pp. 169-200. En: Vlek, P.L.G. (ed.). Micronutrients in tropical food crop production. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht.
- Lora, R. 1991. Análisis de suelos para microelementos. pp. 215-226. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. 2^a edición. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá.
- Loué, A. 1998. Microelements in the agriculture. Ediciones Mundiprensa, Madrid. 354 p.
- Marschner, P. y G. Horts. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition. Academic Press, San Diego (CA). pp. 313-396.
- Microfertisa, 2003. Diagnóstico de elementos menores en suelos de la Sabana de Bogotá. Documento interno. Bogotá. 15 p.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Ed. Grupo Iberoamericana SA, México D.F. 667 p.
- SAS Institute Inc. 1987. SAS/STAT Guide for personal computer, Versión 6. SAS Institute Inc., Cary (NC). 1028 p.
- Vitosh, M.L. 1990. Manganese recommendations. Extension Bulletin E-2220. En: www.msue.msu.edu; consulta: julio 2006.
- Vitosh, M.L. 1997. Potato fertilizer recommendations. Extension Bulletin E-2220. En: www.msue.msu.edu/imp/modfl; consulta: julio 2006.