

Efecto del fraccionamiento de la fertilización con N, P, K y Mg y la aplicación de los micronutrientes B, Mn y Zn en el rendimiento y calidad de papa criolla (*Solanum phureja*) variedad Criolla Colombia

Effect of soil fractionated fertilization with N, P, K, Mg and micronutrient (B, Zn, Mn) response yield and quality of *Solanum phureja* Criolla Colombia variety

Liliana C. Pérez¹, Luis E. Rodríguez² y Manuel I. Gómez³

RESUMEN

Se evaluó el efecto del fraccionamiento de la fertilización edáfica con nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y la aplicación de boro, manganeso y zinc, sobre el crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad de tubérculo en la variedad de papa Criolla Colombia. Se utilizó un diseño de bloques al azar con estructura factorial 2⁴+2. Se presentaron diferencias estadísticas para las variables de crecimiento y desarrollo, rendimiento y calidad de tubérculos. No se observó efecto de los tratamientos para la interacción entre elementos menores, por lo cual el análisis se centró en el efecto del fraccionamiento de N-P-K-Mg y los niveles de fertilización con boro, manganeso y cinc. La fertilización sin fraccionamiento de N-P-K-Mg favoreció mejor desarrollo foliar y mayor potencial de rendimiento, por lo cual no se recomienda su fraccionamiento. Se observaron respuestas positivas a la aplicación de boro para la variable rendimiento y se encontró que su respuesta es complementaria al acompañamiento de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio en la fertilización. La variable gravedad específica presentó valores mayores a 1,088 mientras que el contenido de materia seca fue mayor en los tratamientos testigos y en el fraccionamiento; la aplicación de manganeso estuvo relacionada con incrementos en el contenido de materia seca posiblemente por contribuir a una mayor fotosíntesis neta.

Palabras clave: microelementos, producción, gravedad específica, materia seca.

ABSTRACT

Effect of soil fractionated fertilization with nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium, and application boron, manganese and zinc was evaluated on the growth, development, yield and tuber quality in the potato variety "Criolla Colombia". A randomized blocks design was used in a factorial structure 2⁴+2. Statistical differences were presented for growth and development, yield and tuber quality variables. Any effect on interactions among minor elements was observed, thus the analysis was focused on N-P-K-Mg fractionated fertilization effect and fertilization with boron, manganese and zinc. The non-fractionated fertilization with N-P-K-Mg favoured better foliage development and increased yield, therefore fractionated fertilization is not recommended. A positive response to boron application was reflected on yield. It was found that its response is complementary to the accompaniment of nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium fertilization. The specific gravity variable presented values higher than 1.088 while dry matter content was higher in the control treatment and in those where the fractionated fertilization was carried out; manganese application was related with increases in dry matter content possibly contributing to higher net photosynthesis.

Key words: micro-elements, production, specific gravity, dry matter.

Introducción

El cultivo de papa criolla (*Solanum phureja*) representa entre 5 y 10% del área de papa cultivada en el país, y la exportación de ese producto asciende a mil toneladas al año (Agencia de Noticias de Ciencia y Tecnología de Colombia, 2005). La papa criolla representa el 5,3% del área sembrada en Cundinamarca, el 4% en Boyacá (Censo Nacional de la

Papa, 2003) y el 6% en Nariño (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006); estos son los departamentos de mayor importancia en la producción de papa criolla.

Esta especie se cultiva entre 1.800 y 3.200 msnm; es óptima la altura comprendida entre 2.300 y 2.800 msnm, lo que equivale a un rango de temperatura promedio de 10-20 °C. Requiere una precipitación promedio anual de 900 mm; sin

Fecha de recepción: 19 de febrero de 2008. Aceptado para publicación: 5 de noviembre de 2008

¹ Ingeniero agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. lcperezni@unal.edu.co

² Profesor asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. lerodriguez@unal.edu.co

³ Director de Investigación y Desarrollo, Microfertisa S. A., Bogotá (Colombia). migomez@microfertisa.com.co

embargo, el cultivo se desarrolla bien con precipitaciones superiores. El suelo para su cultivo debe presentar una textura franca, con pendiente máxima del 30%, pH entre 5,2 y 5,9 y altos contenidos de materia orgánica (Ardila, 2001).

En el cultivo de la papa la fertilización es uno de los rubros con más peso dentro de los costos totales de producción: cerca del 39% (Porrás, 2005); además, se ha hecho énfasis en el estudio de los elementos nitrógeno, fósforo y potasio, debido al evidente efecto que tienen sobre la producción y la respuesta positiva a la aplicación simultánea de estos (García y Pantoja, 1998); sin embargo, una fertilización con dichos elementos solo puede ser exitosa cuando todos los nutrientes requeridos por la planta están disponibles en cantidades suficientes en el suelo (Guerrero *et al.*, 2000). De acuerdo con Guerrero (1998), el efecto de las épocas de aplicación y del fraccionamiento del fertilizante depende de varios factores, como la variedad, el ciclo de cultivo, la distribución de los estolones y las raíces y el régimen de precipitación. Así las respuestas de las diferentes variedades a las épocas de aplicación se deben principalmente a la diferencia de tiempo en la formación de los estolones y la duración del ciclo de cultivo (García y Pantoja, 1998).

Estudios preliminares sobre la disponibilidad de elementos menores en suelos del altiplano Cundiboyacense indican que los contenidos de boro son deficientes y que las mayores probabilidades de respuesta a micronutrientes se encontrarían con elementos como el boro, el cobre y el cinc (Barrera, 2000). Se han definido algunos parámetros regionales para elementos secundarios y menores en suelos cultivados en papa en los departamentos de Nariño, Boyacá y Cundinamarca, donde se demuestra alta posibilidad de respuesta agronómica a elementos como magnesio, manganeso y

boro; en una menor proporción cinc, azufre, cobre y calcio y muy baja para hierro. Estos índices se han determinado con investigaciones de campo en papa de las variedades Diacol Capiro y Parda Pastusa (Gómez, 2005).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del fraccionamiento de la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y la aplicación de boro, manganeso y cinc sobre el crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad de tubérculos de la variedad Criolla Colombia (*S. phureja*).

Materiales y métodos

Localización

La investigación se realizó durante el segundo semestre de 2006 en la finca “La Cabaza”, vereda Corinto, municipio de Usme (Cundinamarca), a una altura de 2.800 msnm, con una temperatura promedio de 13 °C y un rango de precipitación promedio anual de 800-1.000 mm. El suelo presentó una textura franco-arenosa, pH 5,43, fuertemente ácido, bajos contenidos de fósforo y una baja saturación de bases. Clasificación taxonómica Typic Dystrudept (Gómez, 2006). Las características físico-químicas del suelo se presentan en la tabla 1, donde se muestra la deficiente concentración de los elementos Mg, B, Zn y Mn.

Material vegetal

Se utilizó semilla de la variedad Criolla Colombia (*S. phureja*), que se caracteriza por tener hábito de crecimiento erecto, buen desarrollo de follaje, color de flor lila oscuro, tubérculos de forma redonda, ojos semiprofundos, color de piel y carne amarillo intenso, maduración temprana (120 días), gravedad específica de 1,088. Ausencia de periodo de reposo y rendimiento promedio de 13-15 t·ha⁻¹.

TABLA 1. Análisis de suelos.

Resultado	pH	CO	N	P	K	Ca	Mg	Na	Al
		%		mg·kg ⁻¹			cmol·kg ⁻¹		
	5,43	5,72	0,49	20,3	0,60	2,29	0,19	0,05	0,00
Ideal	6,6-7,3	5,8-7,0		25-40	0,3-0,4	5,0-10	2,5-3,0	<1,0	<1,0

Textura	Ar	L	A	CIC	Mn	Zn	Fe	Cu	B
	%			cmol·kg ⁻¹			mg·kg ⁻¹		
Franco-arenoso	16	27	57	3,28	0,10	0,31	39	0,10	0,22
Ideal					15-20	3,0-4,0	50-100	2-3	0,4-0,6

Métodos de análisis: pH, relación suelo:agua (1:1); carbono orgánico (CO): método de Walkley-Black; N: estimado a partir del CO (factor empleado: 0,0862); Ca, Mg, Na, K intercambiables: extracción con acetato de amonio 1N pH 7; Al e H de cambio: extracción con KCl 1M; CIC (capacidad de intercambio catiónico): desplazamiento del NH₄ intercambiado con NaCl 1M; P aprovechable: método de Bray II; Mn, Zn, Fe, Cu: extracción con DTPA; B: extracción con fosfato monobásico (Azometina-H).

Fuente: Laboratorio de aguas y suelos, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Diseño experimental

La evaluación se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con una estructura factorial 2^4+2 , dieciséis tratamientos con tres repeticiones por tratamiento; los factores fueron fraccionamiento N-P-K-Mg, presencia o ausencia de B-Mn-Zn y dos testigos, uno sin fertilización y otro que incluyó solo la fertilización con elementos menores. El tamaño de la unidad experimental fue de 20 m², con un metro de distancia entre surcos y 0,25 m entre plantas, para una densidad de siembra de 80 plantas por parcela.

Épocas de fertilización

Se evaluaron dos fraccionamientos de la fertilización N-P-K-Mg, una que incluía la totalidad de la fertilización a la siembra y otra en la cual se fraccionó la mitad a la siembra y el resto al momento de la deshierba (veintiséis días después de emergencia); adicionalmente los tratamientos incluían la presencia o ausencia de los elementos B-Mn-Zn; se incluyeron dos testigos, uno sin fertilización y otro con la aplicación de elementos menores. El plan de fertilización (tabla 2) se planteó teniendo en cuenta el contenido de nutrientes en el suelo y sus relaciones iónicas así como los requerimientos nutricionales de la planta. Además para los micronutrientes se tuvieron en consideración las respuestas agronómicas encontradas en estudios previos realizados

por Bernal y Gómez (2004), Gómez *et al.* (2006), Aguirre y Preciado (2005).

VARIABLES EVALUADAS

Caracterización morfológica

En el periodo de plena floración se realizaron mediciones de las características: número de inflorescencias por planta y número de flores por inflorescencia, pues se sugiere que una interrelación entre el fotoperiodo, la temperatura y la nutrición controla la floración (Chang y Rodríguez, 2002). También se midió el área del foliolo terminal, área del foliolo lateral y área de la hoja, para lo cual se seleccionaron hojas del tercio superior y en cada uno de los folíolos se midió el largo y el ancho, para luego establecer a través del cálculo del área de la elipse el área de los folíolos terminal y lateral y de la hoja. Se muestreó en cinco plantas por repetición de cada tratamiento.

Análisis foliar

Durante el periodo de floración (74-78 dds) se tomó una muestra de pecíolo de la cuarta hoja después de los ápices a fin de realizar análisis foliar completo para determinar si existía algún efecto de los tratamientos sobre la concentración de elementos por la planta.

TABLA 2. Plan de fertilización para los tratamientos.

Tratamiento	N-P-K-Mg	Dosis de B Dosis de Mn Dosis de Zn		
		kg-ha ⁻¹		
1			0	0
2		0	_____	3
3			_____	0
4	140-126-168-28 Sin fraccionamiento (aplicación a la siembra)		_____	3
5		1,5	_____	0
6			_____	3
7			_____	0
8			3	3
9			0	0
10		0	_____	3
11			_____	0
12	140-126-168-28 Con fraccionamiento (aplicación a la siembra y al deshierbe)		_____	3
13		1,5	_____	0
14			_____	3
15			_____	0
16			3	3
17	Testigos	1,5	_____	3
18	0-0-0-0	0	_____	0

Las fuentes utilizadas para la aplicación de los elementos mayores fueron abono 15-15-15 (N total 15%, P₂O₅ 15%, K₂O 15%), Rafos (N total 12%, P₂O₅ 24%, K₂O 12%), urea (N total 46%), KCl (K₂O 60%) y para la aplicación de elementos secundarios y menores se empleó (MF KIESEMAG® 28% MgO, 21% S), BO-ROGRANULADO® (10% B), MF MICROMAN® (20% Mn), Microzinc® (3% P₂O₅, 22% Zn, 7% S). El aporte de micronutrientes para los tratamientos que los contenían se realizó en la siembra incluso para los tratamientos de aplicación fraccionada.

Rendimiento

En la cosecha se clasificaron los tubérculos en sus diferentes categorías: primera (diámetro > 4 cm), segunda (diámetro 2-4 cm), tercera (diámetro < 2 cm) y el rendimiento total. Se realizó la conversión a toneladas por hectárea asumiendo una densidad de 40.000 plantas/ha.

Gravedad específica (GE)

En la cosecha se tomó una muestra aleatoria de diez tubérculos de categoría primera por parcela para determinar la GE por el método de la doble pesada, el cual consiste en pesar los tubérculos en el aire, después sumergirlos en agua para obtener su peso y aplicar la siguiente ecuación $GE = (P_{\text{aire}}) / (P_{\text{aire}} - P_{\text{agua}})$ (Talbur y Smith, 1975).

Materia seca

Los tubérculos usados en la determinación de gravedad específica se secaron en la estufa a 72 °C por un periodo de 120 horas realizando el pesaje de los mismos cada 24 horas hasta encontrar un peso estable. Conociendo el peso fresco y el peso seco se estimó el contenido de materia seca.

Análisis estadístico

Todas las variables se describieron mediante gráficas para caracterizarlas en términos de dispersión y tendencia; para las variables que no cumplieron los supuestos para análisis paramétrico se usó el análisis de varianza y posteriormente pruebas de comparación LSD (diferencia mínima significativa) protegida de Fisher. De acuerdo con los efectos de los tratamientos y para las variables involucradas en la respuesta de estos se realizó prueba de

contrastes ortogonales. El grado de asociación entre las variables de interés se realizó usando los coeficientes de correlación de Spearman ya que no todas fueron normales y homogéneas. El análisis de los datos se realizó con el paquete estadístico SAS 9.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Resultados y discusión

No se evidenció interacción de los elementos menores sobre las variables evaluadas, por lo cual el análisis se centró en el efecto del fraccionamiento de N-P-K-Mg y los niveles de fertilización con boro, manganeso y cinc. Por consiguiente no se puede establecer dentro de los tratamientos evaluados cuál fue el mejor; solo se puede establecer cuál de los factores tiene efecto sobre las variables de interés.

Caracterización morfológica

La aplicación de manganeso indujo una disminución en el número de inflorescencias por planta con diferencias significativas para el nivel de aplicación de manganeso (tabla 3), con promedios de 9,04 para los tratamientos con ausencia del elemento ($0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ Mn}$) y 7,74 para los tratamientos que lo contenían ($3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ Mn}$). Para los demás factores no se observaron diferencias. Esto puede implicar un menor gasto de energía de la planta y mejor conversión en materia seca que puede ser favorable en este cultivo.

El no fraccionamiento de N-P-K-Mg favorece un mayor desarrollo de folíolos laterales, terminales y hojas; esto se traduce en una mayor área lo que puede ser importante

TABLA 3. Probabilidad F ($P > F$) de los análisis de varianza para las variables evaluadas en Criolla Colombia, con una confianza del 95%.

Variable	Factor					Error
	N-P-K-Mg	Boro	Manganeso	Cinc	Bloque	
	Pr>F					
Inflorescencias por planta	0,2101	0,9073	0,0266*	0,8158	0,0982	3,8714
Flores por inflorescencia	0,0004**	0,0572	0,8055	0,3917	0,1416	1,2515
Área folíolo terminal	0,0006**	0,7122	0,5641	0,7758	0,0449*	10,7018
Área folíolo lateral	0,0045*	0,6550	0,0718	0,8973	0,3471	40,9432
Área hoja	<,0001**	0,5519	0,1303	0,7773	0,0413*	774,3264
Rendimiento categoría 1	0,0833	0,9278	0,9410	0,8433	0,0080**	0,9211
Rendimiento categoría 2	0,0092**	0,0287*	0,5757	0,8917	0,2823	5,2522
Rendimiento categoría 3	0,4081	0,5864	0,5864	0,9346	0,3332	1,0432
Rendimiento total	0,0006**	0,0283*	0,9443	0,9340	0,8112	6,2076
Gravedad específica	0,0078*	0,8991	0,0409*	0,7705	0,8477	0,0001
Materia seca	0,0390*	0,4853	0,0151*	0,2895	0,8327	3,6494

* Diferencias significativas ($\alpha=0,05$); ** Diferencias altamente significativas ($\alpha=0,01$).

para un mayor rendimiento y coincide con lo encontrado en el análisis de correlación (tabla 5).

Análisis foliar

Se presentaron diferencias significativas en los niveles de nitrógeno, calcio y potasio del tejido foliar, como efecto de los tratamientos con boro, con los mayores promedios para el nivel de 1,5 kg·ha⁻¹ de boro. En la figura 1 los resultados permiten observar que un nivel de fertilización de 1,5 kg·ha⁻¹ de boro propicia una mejor absorción de nitrógeno, calcio y potasio. La respuesta de estos elementos coincide con lo sugerido por Gómez (2005), la disponibilidad de nitrógeno aumenta en presencia de boro debido a que estimula en etapas iniciales el crecimiento radicular, la del K porque junto al B se relacionan en procesos eficientes de traslocación de azúcares; además se observa una relación favorable a nitrógeno y potasio, que puede tener un efecto indirecto en la mayor concentración de K; esto comprueba la mayor área de la hoja ya que la planta de papa presenta mayores tasas de crecimiento cuando hay mejor disponibilidad de nitratos, lo cual puede favorecer una mayor absorción de potasio, resultado que concuerda con lo sugerido por Power y Woods (1997), citados por Yamada (2000). Por lo anterior el manejo del B puede ser una alternativa para mejorar la eficiencia de la fertilización nitrogenada y potásica.

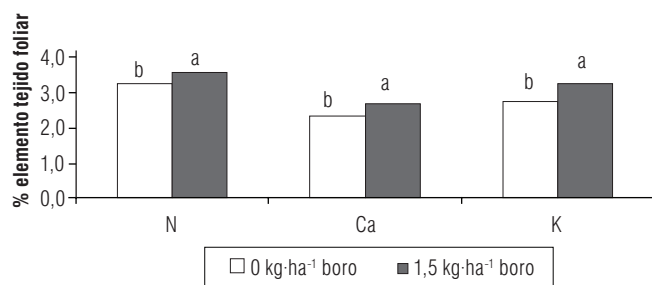


FIGURA 1. Porcentaje de nitrógeno, calcio y potasio en el tejido foliar de la variedad Criolla Colombia de acuerdo con el nivel de fertilización con boro. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de DMS ($P \leq 0,05$).

Para los niveles de fertilización con manganeso los contenidos de calcio y cobre en el tejido foliar presentaron diferencias significativas con el mayor promedio de calcio para el nivel de 3 kg·ha⁻¹ de Mn, corroborando lo planteado por Gómez (2006) quien sugiere que el manganeso estimula la utilización de calcio. El mayor contenido de cobre se presentó con 0 kg·ha⁻¹ de Mn. Así, de acuerdo con los resultados de este trabajo se puede inferir que el manganeso favorece la absorción de calcio pero puede ser antagónico con el cobre.

Para los niveles de fertilización con zinc los porcentajes de magnesio presentaron diferencias significativas con los promedios más altos de magnesio para el nivel de 3 kg·ha⁻¹ de Zn, lo cual sugiere que la presencia de cinc estimula la utilización de magnesio debido a que los dos participan de manera activa en procesos de fotosíntesis (Marschner, 1995) (figura 2).

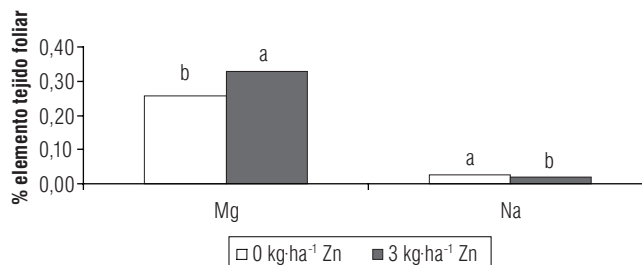


FIGURA 2. Porcentaje de magnesio y sodio en el tejido foliar de la variedad Criolla Colombia según el acuerdo al nivel de fertilización con cinc. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de DMS ($P \leq 0,05$).

Rendimiento de tubérculos

Las variables rendimiento de tubérculos presentaron diferencias altamente significativas por efecto del fraccionamiento N-P-K-Mg, junto a la aplicación de boro mas no para las interacciones entre los elementos menores evaluados (tabla 3); el efecto independiente de los micronutrientes coincide con las respuestas encontradas por Aguirre y Preciado (2005) y Bernal y Gómez (2004).

Rendimiento de tubérculos categoría comercial

El rendimiento de tubérculos categoría comercial (segunda) presentó diferencias altamente significativas para el fraccionamiento N-P-K-Mg (tabla 3). Los mejores promedios corresponden al no fraccionamiento, con una producción para esta categoría de 9,65 t·ha⁻¹ respecto a 8,53 t·ha⁻¹ para el fraccionamiento, valores que están dentro del rango de rendimiento para esta categoría y variedad (8-15 t·ha⁻¹). De acuerdo con los resultados obtenidos por este trabajo, el fraccionamiento de la fertilización N-P-K-Mg no es necesario para este tipo de suelos en la variedad Criolla Colombia, lo cual disminuye costos de producción.

El aporte de boro presentó diferencias significativas con el nivel de 1,5 kg·ha⁻¹, elemento que favoreció el rendimiento de tubérculos de categoría segunda (figura 3), corroborando lo planteado por Bernal y Gómez (2004) quienes evaluaron la respuesta de la papa criolla a diferentes dosis de micro-

elementos (Cu, Mo, Fe, Zn, Mn, B) en el municipio de El Rosal, Cundinamarca, y encontraron efecto significativo en los tratamientos de boro ($0,8-1,6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y cinc ($5-15 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) para las variables rendimiento total y calidad por tamaños, aunque no reportan efectos en los contenidos de materia seca, proteína y densidad.

Las respuestas positivas a la aplicación de boro se pueden explicar a partir de sus funciones, ya que el boro participa en el crecimiento y división celular, en el metabolismo de carbohidratos y proteínas y en papa se está produciendo básicamente almidón y carbohidratos constituyentes de los tubérculos. El boro, como micronutriente más importante para obtener altos rendimientos en los cultivos, en papa puede estar relacionado en parte con la participación de ese elemento en la síntesis de citoquininas las cuales son necesarias en el proceso de tuberización; es así como los tratamientos a los cuales se les suministró boro se caracterizaron por presentar un rendimiento mayor que los que no lo contenían. Esta respuesta concuerda con lo encontrado por Barrera (2000), Bernal y Gómez (2004) y Aguirre y Preciado (2005).

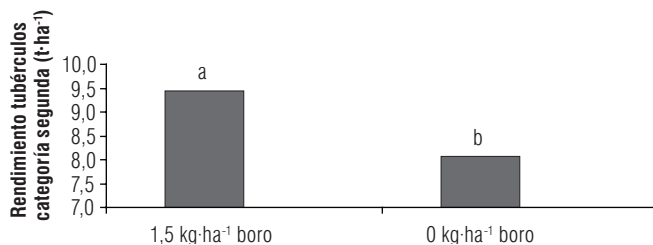


FIGURA 3. Promedios de rendimiento de tubérculos de la categoría segunda en la variedad Criolla Colombia según el nivel de fertilización con boro. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de DMS ($P \leq 0,05$).

Rendimiento total de tubérculos

En la figura 4 se puede observar cómo el promedio de rendimiento más bajo corresponde a los tratamientos testigos ($8,56 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), seguido por el fraccionamiento N-P-K-Mg ($11,93 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), siendo el no fraccionamiento el mayor promedio de rendimiento ($13,87 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Lo anterior puede explicarse por una mayor eficiencia en la toma de nutrientes por parte del cultivo en los primeros días de establecimiento debido al ciclo vegetativo corto que presenta la variedad; esta respuesta concuerda con los trabajos de García y Pantoja (1998) en las variedades ICA-Nariño y criolla donde el fraccionamiento del abonamiento no incrementó las producciones; es posible que cuando se fracciona la fertilización en la variedad los nutrientes no se alcancen a absorber y traslocar, pues no hay senescencia del follaje;

también las condiciones de baja precipitación durante el semestre en que se realizó la investigación pueden favorecer esta respuesta.

De otra parte, es posible que en el momento en que se realizó el aporte de elementos N-P-K-Mg en la deshierba ya se hubiese iniciado la tuberización y por lo tanto se pudo causar una reversión de tubérculos a estolones debido al aporte de nitrógeno afectando el rendimiento de esos tratamientos, coincidiendo con lo propuesto por Prat (2004) quien en cultivos hidropónicos de papa encontró que la adición de nitrógeno a la solución después que las plantas de papa han iniciado la tuberización causa una reversión de tubérculos a estolones posiblemente por el aumento de ácido giberélico y la inducción de brotes y raíces que reducen la cantidad disponible de carbohidratos para los tubérculos. Sin embargo, no se debe descartar que fraccionamientos más cortos, por ejemplo siembra y emergencia con porcentaje de aporte diferente, tengan un efecto positivo sobre el rendimiento ya que las variedades precoces forman los estolones más rápidamente que las tardías.

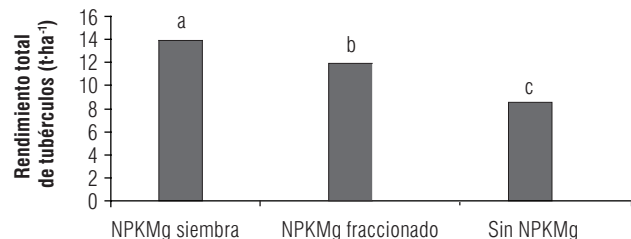


FIGURA 4. Promedios de rendimiento total de tubérculos en la variedad Criolla Colombia sometida a diferentes tratamientos de fertilización. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de DMS ($P \leq 0,05$).

El boro tiene una influencia importante sobre el rendimiento total, con diferencias altamente significativas entre los tratamientos sin fraccionamiento N-P-K-Mg y N-P-K-Mg-B, corroborado por el análisis de contrastes (tabla 4), con una relación directa con el incremento de rendimiento en la categoría segunda, lo que corrobora los efectos positivos de este elemento en el manejo nutricional del cultivo complementario a N-P-K-Mg.

Gravedad específica

En cuanto a la variable gravedad específica se presentaron diferencias significativas para el fraccionamiento de N-P-K-Mg respecto a los testigos, mas no para los demás factores,

TABLA 4. Cuadrado medio del error y probabilidad para el contraste NPKMg vs. NPKMgB sin fraccionamiento en la variedad Criolla Colombia, con una confianza del 95%.

Contraste	Variable				
	NPKMg vs. NPKMgB (siembra)	Rendimiento categoría 2	Rendimiento total	Número de tubérculos categoría 2	Número de tubérculos total
CM error	33,94291007	46,53742798	25618063991	2130012434	
Pr>F	0,0157*	0,0098**	0,0157*	0,1019 ns	

* Diferencias significativas ($\alpha=0,05$); ** diferencias altamente significativas ($\alpha=0,01$); ns, no significativo.

lo que sugiere que las dosis evaluadas de los elementos boro y cinc no influyeron respecto a la calidad de los tubérculos de la variedad; esto concuerda con lo encontrado por Bernal y Gómez (2004). El promedio de esta variable estuvo alrededor de 1,110; 1,099 y 1,093 para los testigos, fraccionamiento N-P-K-Mg y no fraccionamiento, valores que concuerdan con lo propuesto por Rivera *et al.* (2006) quienes establecen los parámetros de calidad en papa criolla para la elaboración de chips como masa seca mayor de 23% y gravedad específica mayor de 1,08.

Materia seca

Se encontraron diferencias y respuestas para el nivel 3 kg-ha⁻¹ de manganeso con un incremento del 8%, respecto a la no aplicación de este elemento (figura 5). Estas dosis coinciden con investigaciones realizadas en Colombia para la especie *S. tuberosum*, en las cuales se presenta respuesta positiva a la aplicación de manganeso con dosis entre 4,0-6,0 kg-ha⁻¹ para la variedad Diacol Capiro y 3,0-4,0 kg-ha⁻¹ para la variedad Parda Pastusa (Gómez *et al.*, 2006). Cabe anotar que el manganeso es, después del hierro, el micronutriente que más requiere el cultivo (Bertsch, 2003, citado por Gómez *et al.*, 2006), pues su deficiencia sí incide de manera negativa sobre el rendimiento por ser un elemento que activa complejos enzimáticos durante la fotosíntesis (Loué, 1998). Sin embargo, Vitosh (1990) reporta baja

respuesta a la aplicación de manganeso en suelos con pH menores de 7,0.

Gómez *et al.* (2006) evaluaron el efecto de la aplicación edáfica de sulfato de manganeso granulado sobre el rendimiento de *S. tuberosum* en dos suelos contrastantes, Andic Eutrudepts utilizando la variedad Diacol Capiro y Typic Hapludands usando la variedad Parda Pastusa, y encontraron respuestas positivas en Andic Eutrudepts con dosis de manganeso de 5,0-6,0 kg-ha⁻¹ y en Typic Hapludands con dosis de manganeso de 3,0-4,0 kg-ha⁻¹ con incrementos entre 10 y 17% en rendimiento.

El efecto del Mn en la acumulación de materia seca se debe a que plantas con contenidos adecuados de este elemento tienden a presentar una mayor fotosíntesis neta (Salisbury y Ross, 1994; Mengel y Kirkby, 2000) (figura 5). Aunque se debe tener en cuenta que no por acumular mayor cantidad de materia seca el rendimiento en campo es mayor, lo cual se evidencia en el grado de correlación de las variables materia seca y rendimiento de tubérculos categoría primera (tabla 5); además el semestre durante el cual se desarrolló la investigación se caracterizó por una condición de clima frío seco, con alta radiación, lo que favorece un alto contenido de materia seca en tubérculos de papa según lo sugiere Castro (1998), citado por Ávila y Rodríguez (2000).

TABLA 5. Coeficientes de correlación de Spearman para algunas variables evaluadas en la variedad Criolla Colombia sometida a diferentes tratamientos de fertilización.

Variable	Rendimiento			Número de tubérculos		GE	MS	Área hoja	B	Mn	Zn
	Categoría 1	Categoría 2	Total	Categoría 1	Total						
Rendimiento categoría 1	1										
Rendimiento categoría 2	0,38**	1									
Rendimiento total	0,56**	0,85**	1								
GE	-0,20	-0,05	-0,19	-0,26	-0,24	1					
MS	-0,15**	0,00	-0,08	-0,20	-0,16	0,90**	1				
Área hoja	0,50**	0,31*	0,41**	0,47**	0,18	-0,43**	-0,34*	1			
B	-0,46*	-0,09	-0,26	-0,47**	-0,06	0,25	0,19	-0,47**	1		
Mn	-0,09	-0,13	-0,14	-0,08	-0,02	-0,45*	-0,36	0,12	-0,11	1	
Zn	-0,68**	-0,11	-0,22	0,62**	0,17	-0,21	-0,19	-0,32	0,18	0,19	1

* Diferencias significativas ($\alpha=0,05$); ** Diferencias altamente significativas ($\alpha=0,01$).

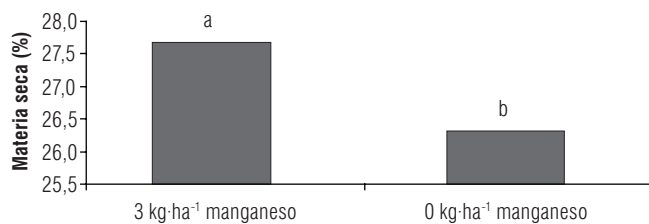


FIGURA 5. Contenido de materia seca en la variedad Criolla Colombia de acuerdo con el nivel de fertilización de manganeso. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de DMS ($P \leq 0,05$).

Para establecer el grado de correlación entre las variables que presentaron respuesta significativa se realizó la prueba de coeficientes de correlación de Spearman (tabla 5).

De acuerdo con la prueba de correlación de Spearman, existe una correlación positiva entre el área de la hoja y el rendimiento de las categorías segunda, primera y total pues se tiene mayor área para captura de luz lo que se traduce en una mayor eficiencia fotosintética y por tanto hay una mayor conversión de biomasa.

Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo con las condiciones de este trabajo no se recomienda el fraccionamiento de la fertilización N-P-K-Mg en la variedad Criolla Colombia posiblemente por una mayor eficiencia en la toma de nutrientes por parte del cultivo en los primeros días de establecimiento dado el ciclo vegetativo corto que presenta la variedad y la baja precipitación. De otra parte, dado que la cosecha de la variedad se realiza sin que haya senescencia de follaje, posiblemente al realizar fraccionamiento los nutrientes no se alcanzan a absorber y translocar.

El balance nutricional y la oferta de nutrientes en forma oportuna mejoran el área foliar y el rendimiento de tubérculos de categoría segunda en la variedad Criolla Colombia de modo que hay una eficiencia en la toma de los fertilizantes. El suministro de boro en etapas tempranas puede favorecer la absorción de fósforo y potasio y por consiguiente un buen crecimiento del cultivo.

Literatura citada

Agencia de Noticias de Ciencia y Tecnología de Colombia. 2005. Boletín: Colombianos producen tres nuevas variedades de papa criolla con gran potencial de exportación. Enero 19 de 2005.

Aguirre, A. e I. Preciado. 2005. Evaluación del efecto de la aplicación foliar de B, Ca y Zn sobre el rendimiento de tubérculos en la variedad de papa Roja Nariño (*Solanum tuberosum* L.). Trabajo

de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Ardila, L. 2001. Papa criolla. En: http://www.angelfire.com/ia2/ingenieriaagricola/papa_criolla. HTML; consulta: septiembre de 2006.

Ávila, O. y D. Rodríguez. 2000. Respuesta de la papa criolla (*Solanum phureja*) variedad yema de huevo a la aplicación de fuentes y dosis de boro en un suelo de Cundinamarca. Trabajo de grado. Carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas Ambientales (UDCA), Bogotá.

Barrera, L. 2000. El boro: importante en el cultivo de papa en suelos de Cundinamarca y Boyacá. pp. 90-95. En: Papas Colombianas con el mejor entorno ambiental. Fedepapa, Bogotá.

Bernal, H. y P. Gómez. 2004. Comportamiento de la papa criolla (*Solanum phureja*) a la aplicación de elementos menores Fe, Cu, Mn, Zn, B en suelos de la serie Bermeo. Trabajo de grado. Carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas Ambientales (UDCA), Bogotá.

Censo Nacional de la Papa. 2003. Revista Papa 23, noviembre de 2003.

Chang, M. y A. Rodríguez. 2002. Inducción fotoperiódica para lograr floración en cinco genotipos de camote (*Ipomoea batatas* L. Lam). Ecología Aplicada 1(1). En: <http://www.lamolina.edu.pe>; consulta: 13 de junio de 2008.

García, B. y C. Pantoja. 1998. Fertilización del cultivo de la papa en el departamento de Nariño. pp. 8-26. En: Guerrero, R. (ed.). Fertilización de cultivos de clima frío. Segunda edición. Monómeros Colombo-Venezolanos, Bogotá. 370 p.

Gómez, M. 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.

Gómez, M. 2006. Manual técnico de fertilización de cultivos. Microfertisa, Bogotá. 116 p.

Gómez, M., M. López y Y. Cifuentes. 2006. El manganeso como factor positivo en la producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) y arveja (*Pisum sativum* L.) en suelos del altiplano Cundiboyacense. Agron. Colomb. 24(2), 340-347.

Guerrero, R. 1998. Fertilización de cultivos de clima frío. Segunda edición. Monómeros Colombo-Venezolanos, Bogotá. 370 p.

Guerrero, R., V. Montenegro y M. Ross. 2000. Fertilización con magnesio para más y mejores rendimientos en papa. pp. 96-99. En: Papas Colombianas con el mejor entorno ambiental. Fedepapa, Bogotá.

Loué, A. 1998. Microelements in the agriculture. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 354 p.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academia Press Ltd., Londres. 889 p.

Mengel, K. y E.A. Kirkby. 2000. Principios de nutrición vegetal. Cuarta edición. Instituto Internacional del Potasio, Basilea, Suiza. 607 p.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2006. I Censo Departamental del Cultivo de Papa, Nariño, IV Separata de Resultados, Producción y Rendimiento, semestre A de 2006.

- Porras, P. 2005. Problemática general del sistema productivo de papa con énfasis en fisiología y manejo de suelos. En: Fisiología y nutrición vegetal en el cultivo de la papa. Cevipapa, Bogotá. 99 p.
- Prat, S. 2004. Hormonal and daylength control of potato tuberization. pp. 538-559. En: Davies, P. J. (ed.). Plant hormones: biosynthesis, signal transduction, action. Academic Publishers, Boston. 750 p.
- Rivera, J., A. Herrera y L.E. Rodríguez. 2006. Evaluación sensorial en productos procesados de papa criolla (*Solanum phureja*) y su importancia para el fitomejoramiento. Fitotecnia Colombiana 6(2), 9-25.
- Salisbury, F. y C. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Cuarta edición. Grupo Editorial Iberoamérica, México D.F. 759 p.
- Talbur, W.F. y O. Smith. 1975. The potato of processing. The AVI Publishing, Inc. Westport, Connecticut. 705 p.
- Vitosh, M.L. 1990. Manganese recommendations. Extension Bulletin E-2220. En: www.msue.msu.edu; consulta: enero de 2007.
- Yamada. 2000. Boro: ¿será que estamos aplicando a dosis suficientes para el adecuado desarrollo de las plantas? Informaciones Agronómicas 90, 1-5.

