

COMPORTAMIENTO DE LA PAPA CRIOLLA (*Solanum phureja* Just et Buk) A CALCIO Y BORO EN UN SUELO DEL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA, COLOMBIA

CREOLE POTATO (*Solanum phureja* Just et Buk) BEHAVIOR TO CALCIUM AND BORON IN A SOIL OF CUNDINAMARCA, COLOMBIA

Andrés Segura¹
Alfonso Triviño¹
Rodrigo Lora Silva²

RESUMEN

En el municipio de Funza, Cundinamarca, en un suelo derivado de cenizas volcánicas clasificado como Typic Dystrandep, se evaluó en papa criolla (*Solanum phureja* Just et Buk) el efecto de la aplicación edáfica de calcio y de boro y su interacción en términos de rendimiento y de calidad de los tubérculos. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar en arreglo factorial completo, dos factores y cuatro niveles para un total de 48 unidades experimentales de 20m². Los niveles de calcio fueron 0-18-36-54kg/ha y de boro 0-0,5-1-1,5kg B/ha. Se evaluó el rendimiento total y por tamaño del tubérculo, la humedad y la densidad y el análisis económico. Los resultados mostraron efecto significativo de los tratamientos en el rendimiento, obteniéndose los mayores con la aplicación de 18 y 54kg-Ca/ha, y de 1kg B/ha junto con 18kg-Ca/ha, con rendimiento total de 29,7; 30,2 y 22,5 t/ha, respectivamente. No hubo efecto en el tamaño de tubérculos, pero la mayoría de ellos fue de tamaño primera. Los mayores ingresos marginales, se obtuvieron con la aplicación de calcio solo, 1kg de B y 18 de Ca y 1kg de B y 36 de

Ca. Por su parte, los niveles de 0,5; 1,0 y 1,5kg B/ha sin Ca produjeron ingresos marginales de \$253.400, \$502.000 y \$885.000, respectivamente. Aunque no hubo incremento significativo en la densidad de los tubérculos, se presentó incremento en relación al testigo para las combinaciones de 0,5kg B/ha y los niveles de Ca, indicando la necesidad de la presencia del Boro con el Calcio.

Palabras clave: Fertilización, micro y nutrientes secundarios, tamaño de tubérculos, rentabilidad.

SUMMARY

At Funza, Cundinamarca, Colombia, in a soil derived from volcanic ashes, classified as Typic Dystrandep, the effect of Calcium and Boron applications and its interactions on yield and tuber quality of the creole potato was evaluated. A complete randomized block design with factorial arrangements, two factors and four levels was used for a total of 48 experimental units of 20m² each. The levels of Ca were 0-18-36-54kg/ha and those of B 0, 0.5, 1, 1.5kg/ha. Total yield and tuber size, as well as tuber density and humidity and the economic analysis were evaluated. The results showed a significant effect of the treatments on the total yield, being the highest, obtained with 18 and 54kg Ca/ha and 1kg B/ha with 18kg Ca/ha, 29.7, 30.2 y 22.5 t/ha, respectively. No effect on tuber size was observed, but production was mainly of the first class size. The highest marginal incomes were obtained with

¹ Ingenieros Agrónomos

² Ing. Químico, M.Sc., docente investigador, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Correo electrónico: rodrigolora@yahoo.com, Dirección para correspondencia: Calle 99 No. 48D-15, Unidad 5, Apto 2, Bogotá, D.C.

calcium alone, 1kg of B and 18kg of Ca, and 1kg of B and 36 of Ca. The boron levels, 0.5, 1.0 and 1.5 without Ca produced marginal incomes of \$253.400, \$502.000 and \$885.000, respectively. Although no significant increase of the tuber density was obtained, in comparison with the check, for the combinations of 0.5kg/ha of B and the Ca levels, an increase was observed, indicating the necessity of the presence of B with Ca.

Key words: Fertilization, micro and secondary nutrients, tuber size, rentability

INTRODUCCIÓN

La papa criolla (*Solanum phureja* Just et Buk), se siembra en Colombia en una extensión aproximada de 12.000 hectáreas semestrales en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Santander, Norte de Santander, Nariño y Antioquia, principalmente (Lora *et al.* 2006). Por sus propiedades culinarias y nutricionales, el tubérculo es de gran aceptación en la población colombiana y además tiene un alto potencial de exportación hacia Estados Unidos, Canadá, Japón y algunos países europeos.

En el país, la papa criolla se cultiva bajo condiciones similares a la dadas para la especie *Solanum tuberosum*, en la cual se ha desarrollado investigación que ha permitido hacer recomendaciones confiables de fertilización. Por su parte, en papa criolla, se requiere más investigación, especialmente en lo relacionado a la fertilización con nutrientes mayores, secundarios y menores en las variedades nuevas seleccionadas, básicamente no solo por su rendimiento, sino también por el tiempo de brotación de los tubérculos, lo que origina pérdidas en su calidad comercial e industrial y el tubérculo se consume brotado (FEDEPAPA, 2005; Zapata *et al.* 2006).

Como nutrimento esencial para las planta, en el suelo el calcio (Ca) existe en muchas formas, pero para fines de nutrición, se considera el Ca en la solución del suelo, el Ca intercambiable y el Ca activo, el cual está constituido por particular finas de carbonato soluble en agua cargada de CO₂, que por ionización el calcio pasa a la forma intercambiable (Espinosa, 2003; Lora, 2001). El Ca se absorbe y transporta en forma iónica, es decir, como catión Ca. Su movilidad es mayor en

el apoplasto que en el simplasto de modo que en aquellos órganos que reciben la mayor parte del calcio por el floema es frecuente que reciban un suministro inadecuado del nutrimento (Epstein & Bloom, 2005). El rol del calcio en el ciclo de vida de la planta ha sido bien establecido y revisado extensamente por varios autores (White & Broadley; Hirsechi; Marschemer; citados por Busse & Palta, 2006). Algunas de estas funciones son las siguientes: la mayor parte del calcio, se localiza extracelularmente donde afecta procesos básicos en la pared celular y en las membranas. El pectato de calcio es un componente de la pared celular a la que estabiliza y hace resistente a la degradación por pialacturonasas. El crecimiento de la raíz depende de Ca extracelular, que afecta fundamentalmente al alargamiento celular. Pequeñas cantidades de Ca son necesarias para la mitosis, habiéndose sugerido que las nucleoproteínas se mantienen unidas entre sí mediante puentes cálcicos; también es activador de ciertas enzimas, como la fosfolipasa, la quinasa, la trifosfatasa de la adenosina y otras. Interviene en la circulación de los azúcares, en el metabolismo del nitrógeno (reducción de nitratos), en la neutralización de los ácidos orgánicos y en la reducción de la permeabilidad celular.

Igualmente juega papel importante en la selectividad de la absorción iónica. Por su parte, la ausencia de una cantidad adecuada de Ca en los tubérculos ha sido asociada con una alta incidencia de defectos fisiológicos, tales como corazón hueco, centro marrón y manchas internas marrones (Björn *et al.* 2006; Ozgen *et al.* 2006). Trabajos empleando el radioisótopo ⁴⁵Ca indicaron que colocando el fertilizante en el tubérculo y en el área estolonífera durante la época de crecimiento mostraron un incremento del contenido del calcio dentro del tubérculo y que el elemento es transportado al tubérculo vía xilema con el agua y las raíces en el estolón asociado con el suministro de agua y calcio al tubérculo en desarrollo. Por otra parte, la demanda transpiracional es determinante en la distribución del calcio dentro de la planta (Busse & Palta, 2006; Larcher, 2003). Además, una adecuada relación del calcio con otros elementos, como potasio, magnesio y azufre es importante dentro de la planta (Malavolta, 1994; Bello & Blanco, 2001).

Con relación a los fertilizantes portadores de Ca son varios los materiales para corregir deficiencias de este nutrimento. En general, las enmiendas para corregir la acidez del suelo, tales como los carbonatos y los

óxidos e hidróxidos de calcio pueden aportar cantidades elevadas del elemento y, por un aumento del calcio intercambiable, suministrar a la planta el nutrimento. Además, el sulfato de calcio puede ser una fuente de azufre y calcio; igualmente fuentes altamente solubles en agua, tales como el cloruro y el nitrato de calcio son altamente ventajosos, aplicando el fertilizante en solución (Björn *et al.* 2006; Espinosa, 2003).

El boro (B) es uno de los ocho micronutrientes esenciales para el crecimiento y el desarrollo de las plantas. En el suelo, se encuentra bajo cuatro formas (Alarcón, 2002; Golberg, 1997):

- Formando parte de minerales silicatados de muy baja disponibilidad para las plantas.
- Presente en la solución y del suelo como ácido bórico no disociado o como anión borato, $B(OH)_4^-$.
- Adsorbido por las arcillas e hidróxidos de hierro y aluminio a valores de pH, especialmente aleolinos.
- Ligado a la materia orgánica de la que es liberado progresivamente durante el proceso de mineralización o ésta por acción microbiana, constituyéndose así como la principal fuente de los suelos a las plantas.

En general, suelos con bajo contenido de materia orgánica o baja tasa de mineralización, pueden presentar deficiencias de B. La disponibilidad del micronutriente es afectada tanto por los factores que favorecen su fijación como por aquellos relacionados con el clima, material parental, interacciones con otros elementos, materia orgánica y textura del suelo. El pH es uno de los factores que más influye en la disponibilidad del boro para las plantas, siendo mínima con un pH inferior a cinco y máximo entre 5 y 7 y 9 a 10. El encalado disminuye la disponibilidad por fijación sobre los hidróxidos de hierro y de aluminio recién formados. Las arcillas con estructura micácea, como la vermiculita, tienen mayor habilidad de fijación que las esmectitas. Por su parte, arcilla amorfas o no cristalinas, como el alofano y la imogolita presentes en suelos derivados de cenizas volcánicas, tienen elevada capacidad de fijación de aniones, como boratos, fosfatos y molibdatos (Rojas, 1988).

El B es absorbido por las plantas principalmente como ácido bórico no disociado o como anión borato $B(OH)_4^-$. Su transporte a la parte aérea es por flujo de transpiración

a través del xilema (Marschner, 2003). El nutrimento es móvil en el floema en aquellas especies vegetales que utilizan polioles como metabolito fotosintético primario (Brown & Barry, citados por Ávila & Ruiz, 2003), tales como maní, nectarines, almendro, manzano, melocotón, níspero, olivo, pera, uva, ciruela y apio.

Para cultivos, como la papa, en caso de hacer aplicaciones foliares es recomendable efectuar varias que cubran las hojas especialmente hasta la floración para asegurar la síntesis de fotosintetatos, en los cuales el B es necesario. Se anota que en la mayoría de los suelos dedicados al cultivo de papa en Colombia existe deficiencia de B, por lo cual, se hace necesario la aplicación del nutrimento bien sea foliar o edáfica (Barrera, 2000; Lora *et al.* 2006; Lora *et al.* 2004). Son varias las funciones propuestas para el boro a saber: transporte de azúcar, síntesis de la pared celular, lignificación, estructura de la pared celular, metabolismo de los carbohidratos, metabolismo del RNA, respiración, ácido indolacético, membranas, metabolismo de fenoles, germinación del polen, crecimiento de tubo polínico y síntesis de proteínas (Marschner, 2003; Epstein & Bloom, 2005). Para la determinación de B disponible en suelos, se han evaluado varias metodologías, incluyendo los síntomas foliares de deficiencia y de toxicidad (Vargas *et al.* 2002; Lucho *et al.* 2005). Los extractantes de B disponibles más empleados son HCl 0,05M, $Ca(H_2PO_4)_2$ 0,08M y agua caliente. Además, la determinación colorimétrica del complejo con azometina-H (Lora, 1998). Es importante tener en cuenta que el límite de boro en el medio de crecimiento entre toxicidad y deficiencia es muy estrecho, por lo cual, este nutrimento debe ser manejado con cuidado (Lora, 2007).

Se debe considerar que el comportamiento de la papa a la aplicación de boro puede depender de la variedad, tal como ha sido soportado en *Solanum tuberosum* (Abella & Gerenas, 1984). También, se ha encontrado un efecto significativo de la aplicación de B sobre la materia seca del tubérculo en papa criolla (Ávila & Ruiz, 2003).

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de aplicaciones edáficas de Ca y B y su interacción en rendimiento y en calidad de tubérculos en papa criolla (*Solanum phureja*).

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en el municipio de Funza, vereda El Cacique, con una precipitación anual de 800mm, temperatura de 15°C, ubicado a 2620msnm, en un suelo derivado de cenizas volcánicas y clasificado taxonómicamente como Typic Dystrandept, medial isomésico. Con base en el análisis del suelo, se aplicó N, P₂O₅ y K₂O como grado 13-26-6, hierro y cobre.

La fuente de calcio empleada fue nitrato de calcio, Ca(NO₃)₂ con un 24% de calcio y 17,5% de nitrógeno, la de boro fue bórax del 10% de boro. Para nivelar el nitrógeno, se utilizó urea del 46% de nitrógeno. El diseño experimental empleado fue el de bloques completos al azar en arreglo factorial 4 x 4 con dos factores (B y Ca) y cuatro niveles. Se hizo análisis de varianza y, donde se observó diferencia significativa, se empleó el método de comparaciones múltiples de Duncan al 0,05%. Cada tratamiento fue repetido tres veces para un total de 16 tratamientos y 48 unidades experimentales constituidas

por cuatro surcos de 5m de largo y 1m entre surcos, para un área de 20m². Los tratamientos fueron: 0-0,5-1-1,5kg-B/ha y 0-18-36-54kg-Ca/ha, tal como aparece en la tabla 1. Por sitio, se colocaron dos semillas de papa variedad yema de huevo a 40cm entre cada uno de ellos. Los fertilizantes, se aplicaron al momento de la siembra; se realizó un control de arvenses y fitosanitario al igual que el aporque, el cual estimula la estolonización que producirá los tubérculos, ayuda a la conservación de la humedad y a la protección contra plagas y enfermedades y, evita el verdeamiento de los tubérculos.

Se cosecharon por unidad experimental los dos surcos centrales y se llevó a t/ha. Se tomó una muestra de 2kg por parcela para la clasificación por tamaños: extra, primera, segunda y tercera (FEDEPAPA, 2005). En el tamaño primera, se tomó la densidad aparente, el peso fresco, el peso seco y la humedad. Para el análisis económico, se empleó la metodología empleada por Pérez & Riaño (2001).

Tabla 1. Tratamientos empleados.

TRATAMIENTO No.	B kg/ha	Ca kg/ha
T1	0	0
T2	0	18
T3	0	36
T4	0	54
T5	0,5	0
T6	0,5	18
T7	0,5	36
T8	0,5	54
T9	1	0
T10	1	18
T11	1	36
T12	1	54
T13	1,5	0
T14	1,5	18
T15	1,5	36
T16	1,5	54

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento total: Los datos de la tabla 2 muestran efecto significativo de los tratamientos sobre la producción total de tubérculos. De acuerdo al coeficiente de determinación R^2 , el 80% de la respuesta encontrada es debido a las aplicaciones de calcio y de boro. Por su parte, el coeficiente de variación de 12,45% está indicando una buena homogeneidad en las unidades experimentales. Las más bajas producciones, se presentaron con las interacciones Ca:B, de acuerdo a los tratamientos 12 y 7. Igualmente hubo efecto negativo con relación al testigo en los tratamientos 6-8-16-14-12-7, sugiriendo la no efectividad de la combinación de los dos nutrimentos bajo estudio. Posiblemente, el contenido de 0,29mg/kg de B disponible, considerado medio a bajo, junto con el derivado de la mineralización de la materia orgánica del suelo es un nivel elevado para papa criolla. Es importante, por consiguiente,

determinar los niveles críticos de boro en papa criolla en suelo y foliar en varias condiciones agroecológicas y con diferentes variedades, tal como lo reporta Lora (2007), para evitar inducir toxicidad del nutrimento, cuyas consecuencias para la planta pueden ser más graves que una deficiencia. En la tabla 3, por medio de la prueba de comparaciones múltiples de Duncan de los tratamientos con el testigo, se observa que éste fue estadísticamente superior a los tratamientos 14-12-7, señalando un efecto negativo de la aplicación de boro con las dosis de calcio, posiblemente por exceso de boro en el suelo, el cual indujo toxicidad para la planta. El Boro con el Ca forma el tetraborato de calcio, moderadamente soluble en agua caliente y soluble en ácidos diluidos. Los tratamientos 10-4-2 fueron significativamente superiores al testigo, mostrando que la mayor respuesta fue al Ca y que es importante determinar la relación Ca:B adecuada en el suelo y en la planta bajo diferentes ambientes agroecológicos.

Tabla 2. Efecto de los tratamientos sobre el rendimientos total de tubérculos.

TRATAMIENTOS (kg/ha) B y Ca.	PRODUCCIÓN * t/ha
T4 (0-54)	30,2a
T2 (0-18)	29,7ab
T10 (1-18)	29,5ab
T13 (1,5-0)	26,5abc
T11(1-36)	25,3abcd
T9 (1-0)	24,8abcd
T3 (0-36)	24,3bcd
T5 (0,5-0)	24,0cd
T15 (1,5-36)	24,0cd
T1 (0-0)	23,8cd
T6 (0,5-18)	23,5cd
T8 (0,5-54)	22,0cde
T16 (1,5-54)	20,3de
T14 (1,5-18)	17,7ef
T12 (1-54)	16,8f
T7 (0,5-36)	12,8f

$R^2 = 0,8013$; C.V. = 12,45

* Cifras con las mismas letras no difieren estadísticamente, (Duncan 0,05).

Tabla 3. Prueba de comparaciones múltiples de Duncan con el tratamiento testigo.

Tatamientos	Duncan 0,5% t/ha	Diferencia de rendimientos t/ha	Diferencia significativa
T16 - T1	5,81	3,50	NO
T15 - T1	5,80	0,20	NO
T14 - T1	5,79	6,10	SI**
T13 - T1	5,77	2,70	NO
T12 - T1	5,76	7,70	SI**
T11 - T1	5,75	1,50	NO
T10 - T1	5,70	5,71	SI**
T9 - T1	5,70	1,10	NO
T8 - T1	5,66	1,80	NO
T7 - T1	5,62	11,00	SI**
T6 - T1	5,56	0,30	NO
T5 - T1	5,49	0,20	NO
T4 - T1	5,27	6,40	SI**
T3 - T1	5,14	0,50	NO
T2 - T1	4,88	5,90	SI**

NO: no hay diferencia significativa

**diferencia altamente significativa.

Rendimiento por tamaño del tubérculo: En la tabla 4, se puede observar la producción promedio de cada tratamiento por categorías y su participación porcentual, bajo las aplicaciones edáficas de calcio y boro. Aun cuando estadísticamente no hubo efecto significativo es importante considerar que la menor producción se presentó en la calidad tercera, la cual tiene baja aceptación en el mercado nacional.

Por su parte, la calidad primera se presentó en la mayor proporción en los tratamientos, seguido por las calidades segunda, extra y tercera. Posiblemente, si se desea obtener mayor participación de los tamaños primera y extra, se debe investigar en varias condiciones agroecológicas y con diferentes variedades de papa criolla (Zapata *et al.* 2006).

Efectos combinados de la aplicación de Ca y B sobre la densidad y la humedad del tamaño primera: La densidad y humedad de los tubérculos son características importantes, pues están articuladas al contenido de almidón y materia seca. En la tabla 4, aparece la densidad

y la humedad de los tubérculos tamaño primera que fue el de mayor representación en el rendimiento total. El análisis de tendencia central para densidad indica que no hubo efecto de los tratamientos, ya que el coeficiente de variación fue solo de 3,68% (Solannas *et al.* 2005).

Las menores densidades, se presentan en los tratamientos 1-2-3-4, donde la dosis de boro es cero y los niveles de calcio se van incrementando. Por su parte, a medida que la dosis de calcio aumenta en presencia de 0,5kg-B/ha, la densidad aumenta hasta un valor de 1,188, mostrando un efecto positivo de esta dosis de boro en presencia de las dosis variables de calcio.

Es muy posible que la densidad de los tubérculos esté muy ligada a la variedad que se utilice. No se presentaron diferencias en el contenido de humedad de los tubérculos, como lo indica el coeficiente de variabilidad de solo 6,70%. En general es conveniente que la humedad sea baja para que la materia seca sea alta y, por tanto, mayor el peso del tubérculo (Epstein & Bloom, 2005). Posiblemente, como lo consideran también Abella &

Tabla 4. Efecto de los tratamientos en la producción y en la calidad de tubérculos.

Tratamiento No.	extra t/ha	primera t/ha	segunda t/ha	tercera t/ha	Densidad	Humedad (%)
T1	1,97a	14,18a	7,51a	0,18a	1.084	85
T2	4,28a	16,26a	8,63a	0,5a	1.071	83
T3	3,51a	14,61a	5,97a	0,24a	1.093	82
T4	1,66a	18,99a	952a	0,00a	1.075	83
T5	3,77a	16,24a	3,98a	0,00a	1.088	83
T6	2,09a	15,30a	5,98a	0,14a	1.157	84
T7	1,52a	8,62a	2,61a	0,08a	1.188	84
T8	1,69a	13,88a	6,38a	0,04a	1.188	81
T9	3,11a	17,34a	4,31a	0,07a	1.099	83
T10	5,39a	17,54a	6,58a	0,00a	1.124	84
T11	1,19a	17,67a	6,21a	0,22a	1.094	83
T12	0,98a	11,26a	4,50a	0,10a	1.129	82
T13	2,56a	17,64a	5,87a	0,43	1.166	83
T14	3,52a	10,22a	3,77a	0,15a	1.089	83
T15	2,32a	15,11a	6,46a	0,11a	1.079	82
T16	2,03a	13,93a	4,23a	0,15a	1.147	82

Cifras con las mismas letras no difieren estadísticamente, (Duncan 0,05).

Densidad y Humedad:

Media	:	1.117	:	83
Desviación Standard	:	0,041	:	1.00015
C.V.	:	3,68%	:	6,70 %

Gerenas (1984), al igual que la densidad, la humedad puede estar ligada a la variedad y a las condiciones agroecológicas. Estos autores encontraron efecto varietal al realizar una investigación con tres variedades de papa de año (*Solanum tuberosum*).

Análisis económico: Se consideró el precio de venta de la papa y el valor de los fertilizantes empelados (calcio y boro), según la metodología utilizada por Pérez & Riaño (2001). Los parámetros utilizados fueron:

- Rendimiento total: sumatoria extra, primera y segunda
- Ingreso total: rendimiento por tamaño y su valor
- Ingreso marginal: valor del rendimiento marginal
- Relación beneficio-costo: ingreso marginal sobre costo variable
- Valor kg extra+primera : \$340,00

- Valor kg segunda : \$300,00
- Valor kg de borax : \$3.500,00
- Valor kg de nitrato y calcio : \$1.205,00

La tabla 5, muestra que los tratamientos con mayor relación beneficio:costo son el T2, donde por cada peso invertido en fertilizando (18kg-Ca/ha) se ganan \$19,23, continuando con los tratamientos T13 – T10 – T9 – T5 – T4. Por su parte hubo tratamientos donde se presentó pérdida como los T6–T7–T8–T12–T14–T16, por lo cual no son recomendables económicamente. El mayor ingreso marginal, se obtuvo con los tratamientos T4–T5–T9–T10–T11–T13 y T-15; posiblemente el T4 es uno de los más atractivos para el agricultor. El importante que el agricultor haga este sencillo análisis económico para que así pueda determinar si la explotación agrícola es o no rentable.

Tabla 5. Análisis económico.

Tratamiento No.	Producción total (t/ha)	Valor total producción	Total costos variables	* Ingreso marginal(\$)	*Relación Beneficio: Costo
T1	23,60	\$7,744,000	----	-----	0
T2	29,20	\$9,572,600	\$90,375	+\$1,828,600	+20,23
T3	24,10	\$7,951,800	\$180,750	+\$207,800	+1,15
T4	30,10	\$9,877,000	\$271,125	+\$2,133,000	+7,87
T5	24,00	\$7,997,400	\$17,500	+\$253,400	+14,48
T6	23,30	\$7,706,600	\$107,875	-\$37,400	-0,35
T7	12,70	\$4,230,600	\$198,250	-\$3,513,400	-17,72
T8	21,60	\$7,207,800	\$288,625	-\$536,200	-1,86
T9	24,70	\$8,246,000	\$35,000	+\$502,000	+14,34
T10	29,50	\$9,770,200	\$125,375	+\$2,026,200	+16,16
T11	25,00	\$8,275,400	\$215,750	+\$531,400	2,46
T12	16,70	\$5,511,600	\$306,125	-\$2,232,400	-7,29
T13	26,10	\$8,625,000	\$52,500	+\$885,000	+16,86
T14	16,50	\$5,802,600	\$142,875	-\$1,941,400	-13,59
T15	23,90	\$7,864,200	\$233,250	+\$120,200	+0,52
T16	20,10	\$6,695,400	\$323,625	-\$1,048,600	-3,24

- * Ingreso marginal y relación beneficio: positivos
- - Ingreso marginal y relación beneficio: negativos

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones de la presente investigación, se puede concluir:

No hubo efecto de los tratamientos en la densidad y en la humedad de los tubérculos tamaño primera, debido posiblemente a que estos parámetros están ligados a la variedad y a las condiciones agroecológicas, tal como se ha encontrado en *S. tuberosum*.

En el rendimiento total de los tubérculos hubo efecto significativo de los tratamientos, especialmente con las aplicaciones de calcio.

Aun cuando no hubo efecto de los tratamientos en el tamaño de tubérculos, la mayor producción fue tamaño primera de buena aceptación en el mercado nacional.

Los mayores ingresos marginales, se obtuvieron con las aplicaciones de calcio y éste junto con algunas de las dosis de boro, lo cual es importante desde el punto de vista de la rentabilidad para el agricultor.

BIBLIOGRAFÍA

- ABELLA, J.; GERENAS, E. 1984. Respuesta varietal de la papa (*Solanum tuberosum* L.) a la aplicación de boro en un Andept de páramo de Cundinamarca. Trabajo de Grado, Ing. Agrónomo. U.N. Bogotá. 157p.
- ALARCÓN, V. 2002. El boro como nutriente esencial. Aspectos fisiológicos y dinámicos en el suelo y planta. Depto. Producción Agraria. Universidad de Cartigana, Chile.

- ÁVILA, F.; RUIZ, R. 2003. Efecto de la aplicación foliar y al suelo del boro sobre la papa criolla en un Andisol de la Calera, Cundinamarca. Trabajo de grado, Ing. Agronómico. U.D.C.A. Bogotá. 114 p.
- BARRERA, L. 2000. Boro: Un micronutriente importante en el cultivo de la papa en Cundinamarca y Boyacá. En: Papas Colombianas. I.C.A. p.90-95.
- BELLO, J.; G. BLANCO. 2001. Evaluación del sulfato de calcio como fuente de azufre y calcio en papa criolla en un suelo Typic Hapludalfs de Cundinamarca. Tesis Ing. Agr. U.D.C.A. Bogotá. 140p.
- BJÖRN, K.; PALTA, J.; CRUMP, P. 2006. Enhancing tuber calcium, concentration may reduce incidence of black spot bruise Injury in potatoes. Hort Science 41(5):1213-1221.
- BUSSE, J.; PALTA, J. 2006. Investigating the in vivo calcium transport path to developing potato tuber using ^{45}Ca : a new concept in potato tuber calcium nutrition. *Physiol. Plantarum*. 128(2):313-323.
- COPETE, L.; GARZON, N. 1992. Eficiencia agronómica de tres fuentes de azufre en cuatro andisoles bajo condiciones de casa de malla. Santafé de Bogotá. U. Nacional, p.4-24.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. 2005. Mineral nutrition of plants, principles and perspectives. Senaver Assoc. Inc. Publ., Sunderland, Massachusetts, U.S.A.
- ESPINOSA, J. 2003. Encalado de Suelos Tropicales. En: Manejo Integral de la Fertilidad del Suelo. Soc. Col. Cienc. Suelos, Bogotá D.C. p.75-84.
- FEDEPAPA. 2005. Guía para el cultivo de la papa. Bogotá, 229p.
- GOLBERG, S. 1997. Reactions of boron with soils. *Plant & Soils*. 193:35-48.
- LARCHER, W. 2003. The utilization of mineral elements. En: *Physiological Plant Ecology*. 4th edition. Berlin, Alemania. p.185-229.
- LORA, R. 1998. Análisis de suelos y material vegetal para micronutrientes. En: Silva Mojica, F. (ed). Actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura. Soc. Col. de la Cienc. Suelo. Santafé de Bogotá. p.47-56.
- LORA, R. 2001. Los elementos secundarios en el cultivo de papa. Soc. Col. Cienc. Suelo. Bogotá. p.114-124
- LORA, R. 2007. Contaminación por elementos menores y posibles soluciones. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 10(1):5-20.
- LORA, R.; MONTAÑEZ, I.; BERNAL, H.; GÓMEZ, R. 2006. Evaluación de la aplicación de Fe-Ca-Mn-Zn-B y Mo en papa criolla en un Pachic Melanudands de Cundinamarca. *Suelos Ecuat.* 36(1):5-12.
- LORA, R., PÁEZ, D.; GUZMÁN, M. 2004. Respuesta de la papa criolla a fuentes a dosis de fósforo en Cundinamarca, Colombia. *Suelos Ecuat.* 4 1:1-8.
- LUCHO, C.; PRIETO F.; DEL ROZO, M. RODRÍGUEZ, R.; PAGGI, H. 2005. Chemical fractionation of boron and heavy metals in soils irrigated with water in Central México. *Agric. Ecos. Enviromen.* 108:57-71.
- MALAVOLTA, E. 1994. Diagnóstico foliar. En: Fertilidad de Suelos, Diagnóstico y Control. Soc. Col. de la Ciencia del Suelos. Santafé de Bogotá. p.57-98.
- MARSCHNER, H. 2003. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press, S. Diego, California. 889p.
- OZGEN, S.; KARLSSON, B.H.; PALTA, J.P. 2006. Responses of potatoes to supplemental calcium application under field conditions. *Am. J. Potatoe Res:* 83:195-206.
- PÉREZ, Y; RIAÑO. A. 2001. Factibilidad económica y financiera de un cultivo de papa criolla (*Solanum phureja* Juz et Buk) con aplicaciones de NPK en el Municipio de Cogua, Cundinamarca. Trabajo de grado Ing. Agr. Corporación Universitaria de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Bogotá D.C. 89p.

- ROJAS, A. 1988. Mineralogical influences on boron adsorption in soils from Colombia. Thesis PhD in Soil. U. California, Riverside. 118p.
- SOLANNAS, A.; SALAFRANCA, L; FAUQUET J.; NUÑEZ, I.. 2005. Estadística descriptiva de las ciencias del comportamiento. Thomson Ed.. Madrid, España. 619p.
- VARGAS, C.; BALLESTEROS, I; TRIANA, P. 2002. Evaluación de extractantes para la determinación de boro disponible en suelos. Suelos Ecuat.32:84-89.
- ZAPATA, J.; NAVAS, G.; TAMAYO, A.; DÍAZ, C. 2006. Manejo agronómica de la papa criolla para el procesamiento industrial. CORPOICA, C.I. La Selva, Rionegro, Antioquia. 44p.

Recibido: agosto 6 de 2007

Aceptado: octubre 8 de 2007